

叶晟,孔飞,李宏俊,等. 辽河口邻近海域小型底栖生物的空间分布及季节变化[J].海洋学报,2017,39(10):78—89, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.10.007

Ye Sheng, Kong Fei, Li Hongjun, et al. Spatial distribution and season variation of meiobenthos community in the Liaohu Estuary[J]. Haiyang Xuebao,2017,39(10):78—89, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.10.007

辽河口邻近海域小型底栖生物的空间分布及季节变化

叶晟^{1,2},孔飞³,李宏俊^{1*},刘敏^{1,2},李洪波¹,邵魁双¹,樊景凤¹,郭皓¹

(1. 国家海洋环境监测中心 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室,辽宁 大连 116023;2.大连海洋大学 水产与生命学院,辽宁 大连 116023;3. 辽宁省海洋环境预报与防灾减灾中心,辽宁 沈阳 110001)

摘要: 本文研究了辽河口邻近海域 2013 年 8 月、10 月和 2014 年 5 月 3 个航次小型底栖生物的种类及其空间分布,分析了小型底栖生物丰度和生物量的季节变化。结果表明,3 个航次(夏季、秋季和春季)小型底栖生物的平均丰度分别为 (264 ± 83) ind/(10 cm²)、 (216 ± 85) ind/(10 cm²)和 (227 ± 67) ind/(10 cm²),平均生物量分别为 (272 ± 125) μ g/(10 cm²)、 (207 ± 89) μ g/(10 cm²)和 (244 ± 103) μ g/(10 cm²)。与其他研究海域相比,辽河口小型底栖的丰度和生物量处于较低水平。共鉴定出了 14 个小型生物类群,按照丰度排序,线虫是最优势的类群,夏季、秋季和春季 3 个航次占总丰度的比例分别为 94.0%、92.5%和 90.8%;其他优势类群为多毛类、桡足类和双壳类。小型底栖生物量的优势类群则为多毛类(41.1%~44.0%),高于线虫(33.8%~36.5%),其次是双壳类(2.6%~6.7%)。水平分布的研究表明,调查海域近岸入海口小型底栖生物的丰度和生物量普遍低于近海海域,但是秋季时近岸分布与近海差距不大。垂直分布的研究表明,95.9%的小型底栖生物分布于 0~5 cm 的表层沉积物中。小型底栖生物的丰度和生物量在夏季时都达到高峰值。与环境因子的相关分析表明,小型底栖生物的数量分布与盐度和水深呈极显著正相关($P < 0.01$),与叶绿素 *a* 呈显著正相关($P < 0.05$)。

关键词: 小型底栖生物;辽河口;群落结构;丰度;生物量;环境变量

中图分类号:Q178.53

文献标志码:A

文章编号:0253-4193(2017)10-0078-12

1 引言

海洋小型底栖生物个体微小,以往研究将其定义为能通过 0.5 mm 孔径筛网但被 0.042 mm 截留的后生动物,近年来小型底栖动物的下限被建议修改成 0.031 mm^[1]。小型底栖生物种类多、生物量大,可以摄食沉积环境中的有机碎屑,而本身又是虾蟹和仔稚鱼的饵料,是海洋底栖碎屑食物链的重要环节,因此

在全球生物地球化学循环中发挥着重要作用^[2-4]。小型底栖生物分布广泛、繁殖周期短,可以对微尺度环境变化快速反应,因此成为了环境污染监测的重要指示生物^[5-6]。在 20 世纪 80 年代,国际上已经报道了近岸海域小型底栖生物丰度和生物量方面的研究^[7-10]。我国小型底栖生物学和生态学研究起步较早,目前已经在黄海^[11]、东海^[12-13]、南海^[14]、渤海^[15-17]区域开展研究,虽然渤海区域的研究较多,但

收稿日期:2017-01-12;修订日期:2017-04-25。

基金项目:海洋公益性行业科研专项经费(201305030,201505027)。

作者简介:叶晟(1992—),男,江苏省常州市人,研究方向为海洋生态监测与评价。E-mail:oceanye1992@163.com

* 通信作者:李宏俊,博士,副研究员,研究方向为海洋生态监测与评价。E-mail:hjli@nmemc.org.cn

是近岸海域研究较少,辽河口海域的小型底栖生物尚未开展调查和研究。本研究通过对 2013 年 8 月、2013 年 10 月和 2014 年 5 月 3 个航次对辽河口邻近海域小型底栖生物调查资料的整理,分析了该区域小型底栖生物类群组成、丰度、生物量以及生产量的空间及季节变化,分析了小型底栖生物与水深、盐度、沉积物等环境因子的相关性,探讨了季节变化对入海口小型底栖生物数量的影响,为今后辽河口小型底栖生物的研究提供基础资料。

2 材料与方法

2.1 调查海域与采样站位

分别于 2013 年 8 月、10 月和 2014 年 5 月,对辽河口邻近海域($40^{\circ}32' \sim 40^{\circ}58' \text{N}$, $121^{\circ}28' \sim 121^{\circ}43' \text{E}$)的 32 个站位进行小型底栖生物采样(图 1)。利用柱状采泥器采集小型底栖生物样品,每个站位重复取样 3 次,采集过程如下:在重锤的作用下,采泥器迅速沉入海底,下落过程中,单向阀开启,当采泥器沉入海底,空心管采集到沉积物样品后,将采泥器拉起,上升过程中单向阀关闭,当柱状采泥器上船后,利用内径为 8 cm 的有机玻璃内套管将柱状泥样取出,采集长度为 10 cm 的芯样,并按照 0~2 cm、2~5 cm 和 5~10 cm 分层装袋,各小型底栖生物样品分别使用等体积的 10% 甲醛溶液固定。为了分析小型底栖群落结构和环境因子的相关性,刮取表层沉积物用于沉积物粒度、有机质(OM)、叶绿素 a (Chl a) 和脱镁叶绿素 a (Pha a) 分析。

2.2 样品分析

环境因子(水深、盐度等)利用随船水质分析仪(YSD)现场测定。沉积物粒度利用激光粒度仪(Beckman Coulter LS1332)测定。有机质测定参考《海洋监测规范》^[18]中的重铬酸钾氧化—还原法。叶绿素 a (Chl a) 和脱镁叶绿素 a (Pha a) 采用湿样法测定。

小型底栖生物分选前首先在每瓶样品中加入 3~5 mL 质量分数 1% 的虎红溶液,混合均匀,染色 24 h 后将样品转移到 0.5 mm 和 0.031 mm 的双层网筛上用自来水冲洗,去掉样品中大量的沉积物。将 0.031 mm 网筛上的样品用比重为 1.15 g/cm^3 的 Ludox-TM 溶液转移至 50 mL 离心管中,上下颠倒混合,1 800 r/min 离心 10 min,收集上清液,重复离心 3 次,将 3 次离心获得的上清液混合之后倒在 0.031 mm 的网筛上,并用自来水冲洗掉 Ludox 溶液,之后用自来水将样品转移到培养皿中。在解剖镜下,将小

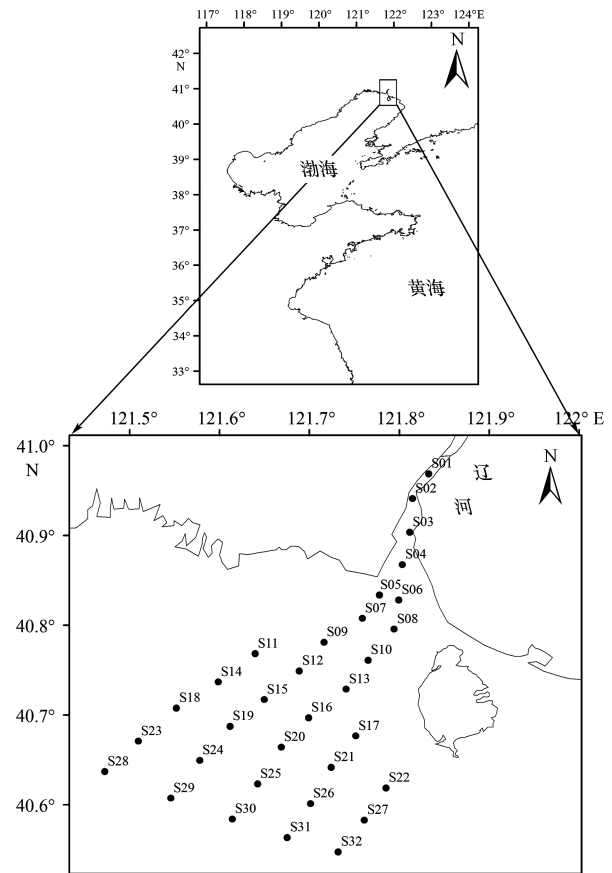


图 1 辽河口调查站位

Fig. 1 Sampling sites in the Liaohe Estuary

型底栖生物挑出,按照类群分开计数,并使用 5% 的甲醛溶液保存在玻璃样品瓶中。

2.3 数据统计分析

2.3.1 丰度和生物量的计算方法

根据取样管的内径,将每个站位的小型底栖生物丰度换算为每 10 cm^2 的个体数[个/(10 cm^2)]。通过换算法计算小型底栖生物的生物量,即使用各类群的个体平均干质量乘以其丰度。在本研究中,桡足类参照 McIntyre^[19]以 $1.86 \mu\text{g}$ 计算;其他类群的平均个体干质量依据 Juario^[20]和 Widbom^[21]的参数。

2.3.2 统计检验

利用 SPSS 19.0 软件的 Spearman 相关分析(Spearman Correlation Analysis)进行小型底栖生物的丰度、生物量与环境因子以及各环境因子之间的相关性验证,了解各个因子之间的相关性。

3 结果与分析

3.1 沉积物类型、组成及分布

辽河口水域的沉积物类型主要有 7 种,优势类型

为黏土质粉砂(YT)，共 12 个站位，黏土含量 21.14%~33.54%，粉砂占 55.62%~71.18%，中值粒径(Md) 6.08Φ~7.30Φ，分选性一般，从近岸至近海均有分布。其次为砂质粉砂(ST)，分布于近海，共 4 个站位。再次为砂(S)、粉砂(T)、粉砂质砂(TS)各

2 个站位。此外，还有砂-黏土-粉砂(S-Y-T)和黏土-砂-粉砂(Y-S-T)等沉积类型各 1 个站位。从中值粒径和粉砂-黏土含量的等值线图可以看出(图 2)，辽河口近岸的沉积颗粒相对较粗，由此向外缘逐渐变细。

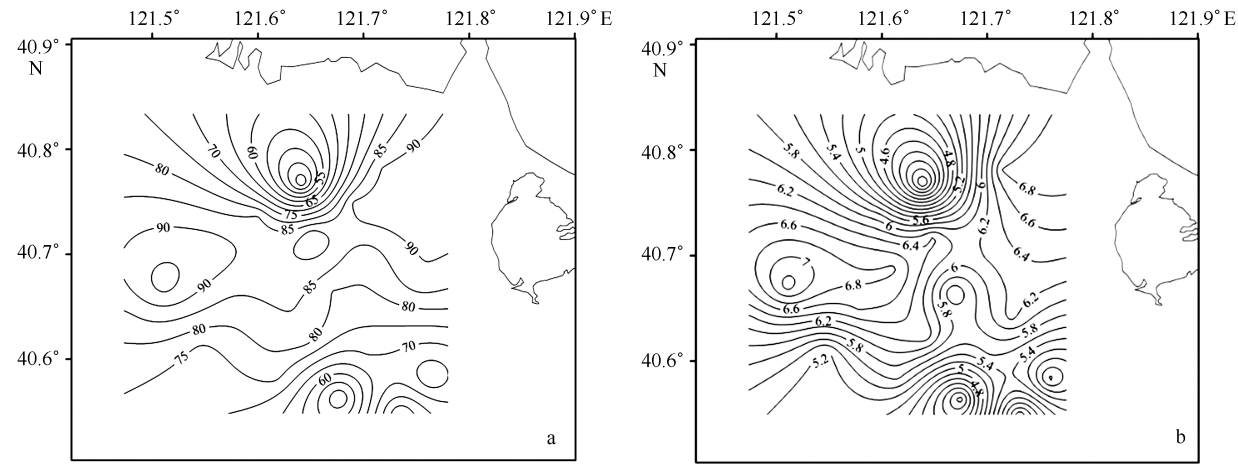


图 2 沉积物类型

Fig. 2 Sediment types in the Liaohe Estuary

a. 沉积物粉砂-黏土含量(%)分布; b. 沉积物中值粒径(Md)(Φ)分布

a. Distribution of sediments silt and clay content (%); b. distribution of sediment medium diameter(Md)(Φ)

3.2 沉积物环境

辽河口海域的平均水深为(6.76±2.60)m，最低值出现在蛤蜊岗附近的 S13 站位(2 m)，入海口附近的站位的水深也处于较低水平。该海域海水深度分布呈梯状向近海递增。该海域的盐度分布情况与深度相似，平均盐度为(17.93±4.15)，最低值处于入海口的 S04 站位(7.19)，然后依次向外逐级增加。

研究海域 2013 年 8 月航次沉积物叶绿素 a 的平均值为(0.577±0.328) μg/g，其中最高值出现在 S21 站位，含量为 1.640 μg/g，次高值出现在 S26 和 S14 站位，含量为 0.963 μg/g。而夏季和春季的高峰区域更靠近近海。沉积物脱镁叶绿酸 a 的分布同叶绿素 a 的分布不尽相同，平均值为(0.977±0.360) μg/g。最高值出现在 S15 站位(1.720 μg/g)而最低值出现在 S18 站位(0.470 μg/g)，本航次叶绿素 a 和沉积物脱镁叶绿酸 a 的高峰区域均分布于近海站位。

3.3 小型底栖生物的丰度与类群组成

3.3.1 小型底栖生物类群组成

3 个航次共鉴定出 14 个小型底栖生物类群，包括线虫、桡足类、多毛类、双壳类、寡毛类、动物类、端

足类、介形类、涡虫、腹毛类、轮虫、甲壳类幼体、棘皮动物以及其他未鉴定类群。表 1 展示了 3 个航次中小型底栖生物的主要类群丰度、生物量和生产量。在这 3 个航次中，线虫的是小型底栖生物主要类群中的绝对优势类群，其次是多毛类，这 2 个类群的丰度之和能达到总丰度的 94.1%~97.2%。再次的优势类群是桡足类和双壳类，其他各类群的丰度都不足总丰度的 2%。根据生物量，所占比例最高的类群是多毛类，之后依次是线虫、双壳类、寡毛类和桡足类，这 5 个类群的生物量之和在 3 个航次中均超过了小型底栖生物总生物量的 85%。

3.3.2 小型底栖生物丰度的季节变化和空间分布

分析数据表明 3 个航次中夏季航次小型底栖生物的平均丰度最高，为(264±83) ind/(10 cm²)，最高值出现在 S26 站位，最低值在 S11 站位；其次是春季航次，小型底栖生物的平均丰度为(227±67) ind/(10 cm²)，最高值站位在 S32，最低值在 S05 站位；秋季航次平均丰度(216±85) ind/(10 cm²)最低，最高值站位在 S17，最低值在 S32 站位。

表 1 3 个航次小型底栖生物各主要类群的平均丰度、生物量和生产力
Tab.1 Average abundances, biomasses and productivities of major meiobenthic groups on three cruises

类群	航次	丰度/ind · (10 cm ²) ⁻¹	生物量/μg · (10 cm ²) ⁻¹	生产力/μg · (10 cm ²) ⁻¹ · a ⁻¹
线虫 Nematoda	夏季	248±81	99±32	893±291
	秋季	200±83	80±33	720±298
	春季	206±62	82±25	742±222
多毛类 Polychaeta	夏季	9±7	120±102	1 076±914
	秋季	6±4	85±54	766±485
	春季	8±6	106±77	951±697
桡足类 Copepoda	夏季	3±1	5±2	47±20
	秋季	3±2	6±4	56±32
	春季	3±1	5±2	46±16
腹毛类 Gastrotricha	夏季	1±1	3±3	25±29
	秋季	0±0	1±2	9±14
	春季	0±0	1±2	9±14
寡毛类 Oligochaeta	夏季	1±1	10±16	89±146
	秋季	0±1	6±12	50±109
	春季	0±1	6±13	52±114
双壳类 Bivalvia	夏季	2±2	7±9	63±78
	秋季	2±1	6±6	57±55
	春季	4±4	16±15	148±133
动吻类 Kinorhyncha	夏季	0±1	1±1	7±10
	秋季	0±1	0±1	4±9
	春季	0±1	1±1	5±10
端足类 Amphipoda	夏季	0±0	4±7	34±60
	秋季	0±0	3±6	27±55
	春季	0±0	3±6	31±58
介形类 Ostracoda	夏季	0±0	5±11	49±97
	秋季	0±0	4±10	37±88
	春季	0±0	5±10	43±92
涡虫 Turbellaria	夏季	—	—	—
	秋季	0±1	1±2	13±18
	春季	—	—	—
轮虫 Rotifera	夏季	0±0	1±2	9±15
	秋季	—	—	—
	春季	0±1	1±2	10±18
棘皮动物 Echinodermata	夏季	—	—	—
	秋季	0±0	1±1	5±12
	春季	0±1	1±2	11±21
甲壳类幼体 Crustacea	夏季	—	—	—
	秋季	1±1	3±3	24±23
	春季	—	—	—

续表 1

类群	航次	丰度/ $\text{ind} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$	生物量/ $\mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$	生产力/ $\mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$
其他类 Other	夏季	5 ± 2	18 ± 9	159 ± 77
	秋季	3 ± 2	11 ± 6	97 ± 57
	春季	5 ± 2	17 ± 9	150 ± 78

2013 年 8 月航次小型底栖生物的丰度水平分布见图 3a。24 个站位的平均丰度为 $(264 \pm 83) \text{ ind}/(10 \text{ cm}^2)$ ，最高值出现在 S26 站位 $[415 \text{ ind}/(10 \text{ cm}^2)]$ ，之后依次为 S28 站位 $[396 \text{ ind}/(10 \text{ cm}^2)]$ 和 S18 站位 $[382 \text{ ind}/(10 \text{ cm}^2)]$ ，这几个站位均属于近海站位，最低值出现在 S11 和 S04 站位。由于线虫是最优势的

类群，它的分布的趋势主导了小型底栖生物的分布。多毛类丰度表现为 S18 站位最高，S04 站位的丰度最低。桡足类在 S28 站位丰度最高，其他站位比较平均。双壳类丰度在 S19、S29 站位较高，但在多个站位未检测到该类群。

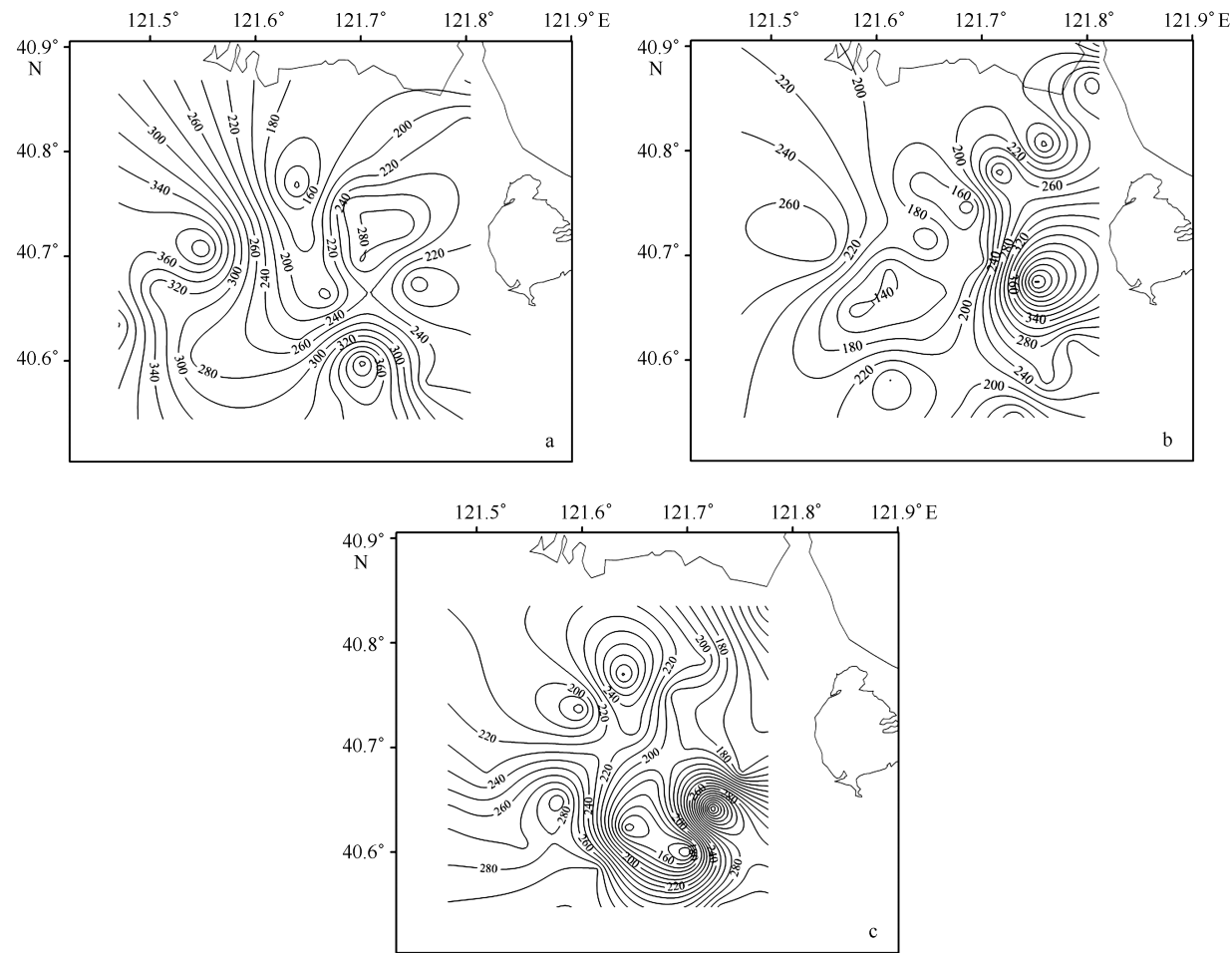


图 3 不同季节辽河口小型底栖生物丰度 $[\text{ind}/(10 \text{ cm}^2)]$ 分布
Fig. 3 The distribution of meiobenthos abundance in different seasons in the Liaohe Estuary $[\text{ind}/(10 \text{ cm}^2)]$
a. 2013 年 8 月航次; b. 2013 年 10 月航次; c. 2014 年 5 月航次
a. Cruise of August, 2013; b. cruise of October, 2013; c. cruise of May, 2014

2013 年 10 月航次小型底栖生物 25 个站位的平均丰度为 $(216 \pm 85) \text{ ind}/(10 \text{ cm}^2)$ ，2014 年 5 月航次

小型底栖生物 22 个站位的平均丰度为 (227 ± 64) ind/(10 cm²), 两个航次的小型底栖生物丰度水平分布见图 3b 和图 3c。两个航次丰度的最高值分别出现在蛤蜊岗附近的 S17 和 S21 站位, 且入海口站位的丰度都出现低值。但是秋季航次的丰度分布不均匀, 西侧站位的丰度普遍低于东侧站位, 而春季航次的丰度分布则比较均匀, 且近海站位的丰度要高于近岸站位。多毛类在两个航次中的分布情况稍有不同, 但最高值都出现在入海口站位, 秋季航次是在 S04 站位, 春季航次在 S09 站位。秋季航次的较高值均出现在近岸的站位, 而春季的近海站位 S27 和 S28 站位也出现了较高值。双壳类在 2013 年 10 月和 2014 年 5 月航次中均有 5 个站位没有出现, 但是其分布情况也不同: 10 月秋季航次近岸站位的丰度低于近海站位, 最高值出现在 S32 站位。5 月春季航次的分布比较混杂, 近岸近海站位均出现峰值和谷值, 不过整体上还是近海站位要高于近岸站位。桡足类的分布相对比较均匀, 在 2013 年 10 月航次中在 S11 站位出现最高值, S15 和 S25 站位的丰度较高; 在 2014 年 5 月航次中在 S28 站位出现最高值, 其他站位的丰度比较平均。春季航次的丰度相对于秋季航次要低。

3.4 小型底栖生物的生物量与生产量

与丰度不同, 3 个航次中小型底栖生物中多毛类的生物量占总生物量的 41.1%~44%, 略高于线虫的 33.8%~38.6%。生物量第三的在各个航次均有所不同, 夏季航次是寡毛类约占 3.6%, 秋季航次是桡足类和双壳类的 3%, 春季航次则是双壳类的 6.7%。其他类的生物量较小, 皆不超过总数的 3%。与多毛类相比, 线虫的丰度明显高于多毛类, 但是其生物量确低于多毛类, 其原因是多毛类的个体平均干质量 (14 μ g) 远远超过线虫 (0.4 μ g)。

研究海域 2013 年 8 月航次小型底栖生物的平均生物量为 (272 ± 125) μ g/(10 cm²), 最大值出现在 S18 站位 [676.24 μ g/(10 cm²)], S04、S20 和 S21 站位的生物量最低。2013 年 10 月航次的小型底栖生物的平均生物量为 (207 ± 89) μ g/(10 cm²), 最高值出现在 S04 站位 [454.8 μ g/(10 cm²)], 与 8 月航次的数据正好相反, 次高值出现在 S17 站位 [422.24 μ g/(10 cm²)]。2014 年 5 月航次小型底栖生物的平均生物量为 (244 ± 103) μ g/(10 cm²), 最大值出现在 S27 站位 [466.98 μ g/(10 cm²)], 最低值出现在 S05 站位 [75.12 μ g/(10 cm²)]。除了 2013 年秋季航次, 其他两个航次的生物量的最低值都是处在近岸站位。3

个航次的小型底栖生物丰度水平分布见图 4。

3 个航次的平均生产量分别为 $(2\ 448 \pm 1\ 125)$ μ g/(10 cm² · a)、 $(1\ 863 \pm 801)$ μ g/(10 cm² · a) 和 $(2\ 196 \pm 927)$ μ g/(10 cm² · a)。3 个航次的生物量和生产量有差异, 但是差异不明显。

3.5 小型底栖生物的垂直分布

对辽河口海域 3 个航次的小型底栖生物垂直分布进行了分析, 结果表明, 小型底栖生物的数量在沉积物表层 0~2 cm、2~5 cm 和 5~10 cm 中的分布比例分别是 $81.2\% \pm 6.1\%$ 、 $14.7\% \pm 4.6\%$ 和 $4.1\% \pm 3.2\%$ (图 5a), 线虫数量的分布比例依次是 $80.3\% \pm 5.8\%$ 、 $15.5\% \pm 4.4\%$ 和 $4.2\% \pm 3.6\%$ (图 5b)。类似于中国其他海域小型底栖生物的垂直分布规律。在本研究中, 0~5 cm 芯样的采样率达到了 95.9%, 只是略低于南黄海和北黄海 (97%), 高于黄河口水下三角洲的 95%、东、黄海的 91% 以及长江口的 86%^[12,22-25]。

3.6 小型底栖生物丰度和生物量与环境因子的关系

样品中小型底栖生物的丰度、线虫丰度、多毛类丰度以及桡足类丰度分别对各航次中的盐度、水深、有机质、叶绿素 *a*、脱镁叶绿酸 *a* 以及沉积物中的黏土和粉砂的含量与中值粒径进行 Spearman 相关性分析, 结果见表 2。由表 2 可知, 盐度与小型底栖生物和线虫的丰度呈极显著正相关, 是本研究海域小型底栖生物丰度的主要限制因子。海水深度与小型底栖生物丰度的也是极显著正相关, 其与线虫和桡足类的丰度呈显著正相关。叶绿素 *a* 与小型底栖生物和线虫的丰度呈显著正相关。沉积物中黏土和粉砂的含量以及中值粒径与小型底栖生物的丰度呈负相关, 但是不显著。其他环境因子与丰度的相关性不显著。

4 讨论

4.1 3 个航次小型底栖生物的丰度和生物量变动

3 个航次小型底栖生物的丰度和生物量水平由高到低依次是 2013 年 8 月、2014 年 5 月、2013 年 10 月。与沉积物叶绿素 *a* 的含量水平一致, 由此可以推测, 水体中食物的丰富程度在一定程度上决定了小型底栖生物的丰度。通过研究 3 个航次小型底栖生物的水平分布情况, 发现在夏季和春季航次中近岸海域的生物丰度与近海海域丰度的差异较之秋季更加明显, 认为造成这种现象的原因可能是辽河的径流影响: 辽河在春季和夏季会由于融雪和雨季进入汛期, 导致地表径流携带大量悬浮泥沙进入海洋, 导致入海

口附近的海水透明度降低,从而抑制了藻类的生长,使底栖生物的食物来源受到限制。而秋季则由于水势平缓,受到径流影响较小,因此在近岸海域也会出现小型底栖生物的高峰站位。要了解造成这一现象的真正原因,还需要进行连续几年对其进行季度调查,以此来证实此结果。

4.2 小型底栖生物的分布与环境因子的关系

小型底栖生物的分布受到物理、化学和生物因素等多方面的影响,包括水深、水温、沉积物成分、有机质含量、叶绿素含量、季节变化以及自身的繁殖和摄食特点等。本研究中,小型底栖生物的丰度与叶绿素 *a* 呈显著正相关关系,即水体中的藻类等食物供应量影响了该区域小型底栖生物的数量。辽河口是开放

性河口,盐度梯度变化大,因此盐度是影响生物丰度的一个重要因子。辽河口由于径流的影响,入海口盐度偏低,而小型底栖生物丰度的低值也均会在入海口出现。相关性分析表明,小型底栖生物丰度和盐度呈极显著正相关,其分布也呈现由近岸向近海递增的趋势,由此可见,盐度是辽河口海域小型底栖生物分布的一个主要的限制性因子,这也表现出海洋起源的物种低盐耐受性较弱的特点^[26-28]。当然,这也不是绝对的,个别站位,如 S04 站位,在 2013 年 10 月航次,虽然该站位的盐度较低,但是小型底栖生物丰度和生物量却较高,这一点值得以后进一步研究产生这种现象的原因。

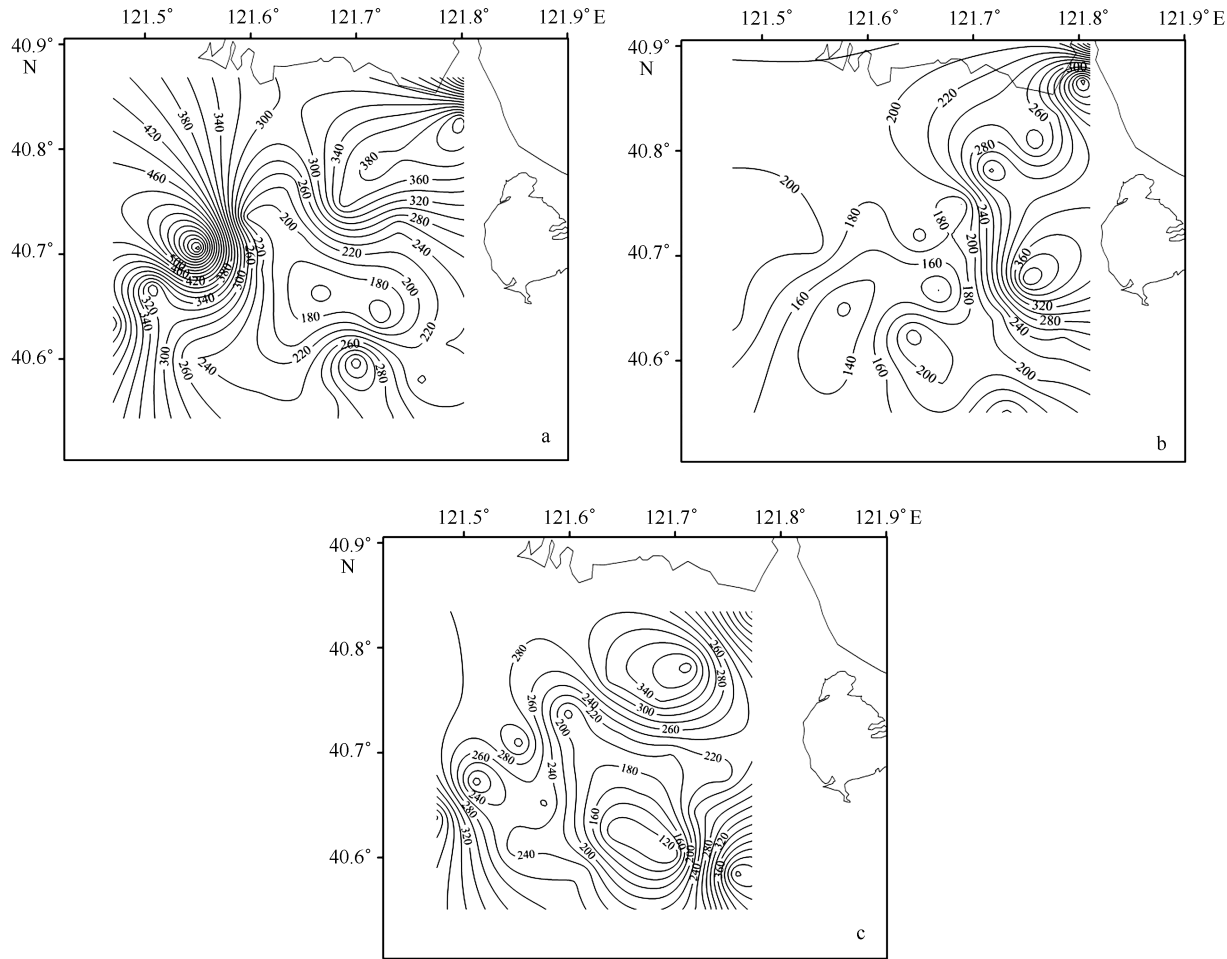


图 4 不同季节辽河口小型底栖生物生物量分布[$\mu\text{g}/(10\text{ cm}^2)$ 干质量]

Fig. 4 The distribution of meiobenthos biomass in different seasons in the Liaohu Estuary[$\mu\text{g}/(10\text{ cm}^2)$ dwt]

a. 2013 年 8 月航次生物量; b. 2013 年 10 月航次生物量; c. 2014 年 5 月航次生物量
a. Biomass in the cruise of August, 2013; b. biomass in the cruise of October, 2013; c. biomass in the cruise of May, 2014

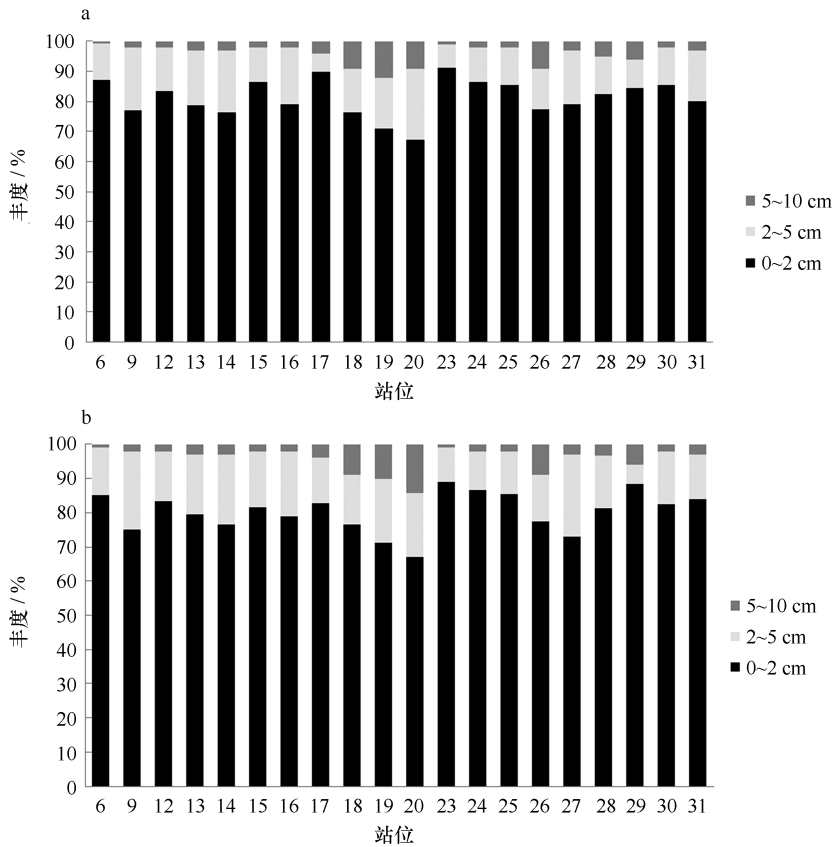


图 5 辽河口小型底栖动物(a)和线虫(b)丰度的垂直分布
Fig. 5 Vertical distribution of meiofauna (a) and nematode (b) abundance of Liaohe Estuary

表 2 小型底栖生物丰度与环境因子的相关关系
Tab. 2 Relationship between abundance of meiofauna and environmental variables

环境因子	小型底栖生物	线虫	多毛类	桡足类
盐度	0.531**	0.517**	0.102	0.241
水深	0.517**	0.500*	0.150	0.422*
有机质	0.240	0.249	0.048	-0.286
叶绿素 <i>a</i>	0.417*	0.427*	0.028	-0.211
脱镁叶绿素酸 <i>a</i>	0.197	0.210	0.097	0.079
黏土和粉砂	-0.177	-0.181	0.116	-0.086
中值粒径	-0.046	-0.052	0.015	-0.138

注: * 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

4.3 国内外不同海域小型底栖生物比较

小型底栖生物,尤其是线虫,遍布于海洋的各种底质类型中,只是由于生境不同,其丰度、生物量、种类组成和多样性也存在着较大的差别^[29]。目前,我国有关小型底栖生物的研究已有许多,所涉及的生境包括了河口水下三角洲、浅海和深海陆架、潮间带等。

在这些研究中,主要的研究对象是线虫和桡足类,所采用的方法都基本相同。本研究调查的辽河口海域小型底栖生物的丰度为 (229 ± 78) ind/(10 cm²),相比于其他研究海域(表 3),处于较低水平,仅比珠江口丰度 $[(183\pm172)$ ind/(10 cm²)]高^[30],显著低于渤海 $[(2\,274\pm1\,039)$ ind/(10 cm²)]^[16]、北黄海 $[(1\,601\pm$

836) ind/(10 cm²)]^[22]、长江口邻近海域[(1 971±584) ind/(10 cm²)]^[24]等研究区域。

辽河口海域小型底栖动物的低丰度与该海域的盐度有着密切的关系。相较于其他研究海域,本研究海域测得的平均盐度仅为(17.93±4.15),明显低于其他海域^[14,24],与珠江口^[30]类似。考虑到小型底栖生物的低盐耐受性较弱的特性,这可能是该海域小型底栖生物低丰度的原因;辽河口及其邻近海域水深较浅,均低于10 m,这就导致了底质环境的不稳定,且沉积物以黏土质粉砂为主,粉砂含量较高,且受到辽河、大凌河以及大辽河的径流影响,因此这片海域的

沉积物环境不利于营养物质的积累和储存,因此小型底栖生物的丰度和生物量可能受其影响;另外,高强度的人类活动也可能造成小型底栖生物的低丰度;辽河流经新兴的石油化工城盘锦,沿岸的工农业污染物会随着地表径流进入海洋,这将导致该海域小型底栖生物的生活环境遭到污染,从而使该海域底栖生物的丰度和生物量降低;其次,盘锦的围海工程会导致海流和沉积物的性质发生改变,从而影响小型底栖生物的丰度;最后其他人类活动,如渔业捕捞、石油开采等都会影响底栖生物的生境。

表 3 国内外不同海域小型底栖生物丰度比较
Tab.3 Comparison of the numbers of meiofauna from different areas

采样地	采样时间	水深/m	小型动物丰度/ind·(10 cm ²) ⁻¹	线虫丰度/ind·(10 cm ²) ⁻¹	文献
辽河口	2013. 08	1~11	264±84	248±81	本研究
	2013. 10		216±85	200±83	
	2014. 05		227±67	206±62	
黄河口水下三角洲	1987. 10	8~30	1 315±752	1 139±661	张志南等 ^[23]
渤海	1997. 06	约 35	2 274±1 039	2 151±1 036	郭玉清等 ^[16]
	2004. 01		1 186±486	1 063±469	
北黄海	2006. 07	15~73	1 099±634	789±451	陈海燕等 ^[22]
	2007. 01		664±494	599±467	
	2007. 04		1 601±836	1 376±745	
	2007. 10		524±377	394±295	
南黄海	2003. 01	20~80	954±270	831±227	张艳等 ^[25]
	2004. 01		1 186±486	1 063±469	
东、黄海	2000. 10	50~100	654±442	570±395	张志南等 ^[12]
长江口及邻近海域	2003. 06	15~75	1 971±584	1 785±494	华尔等 ^[24]
珠江口	2010. 08	3~10	183±172	115±115	袁俏君等 ^[30]
象山港	2011. 10	6~19	31.4±64.5	11.8±16.2	毛硕乾等 ^[31]
	2012. 02		97.4±206.5	56.9±110.3	
	2012. 05		22.3±34.4	18.5±25.8	
	2012. 08		74.8±140.8	20.5±40.3	
赫尔果兰湾	1975	31~117	3 900	3 800	Juario ^[20]
长岛海峡	1978	14	900	400	Yingst ^[32]

在小型底栖生物主要类群构成上,本研究海域在总体上与中国其他海域相似,但同时也存在本海域自己的特点。其他海域通常以桡足类为第二大优势类群,而辽河口海域的3个航次调查结果,则都是以多

毛类居次。这可能与沉积物叶绿素含量较其他海域偏低有关。本研究中沉积物叶绿素的平均含量为(0.52±0.28) μg/g,与南黄海冬季的数值(0.42±0.20) μg/g^[25]比较接近,但是确远远低于长江口的含

量(2.47 ± 0.57) $\mu\text{g/g}$ ^[24]。由于桡足类通常以微藻为食,叶绿素 *a* 含量低指示藻类数量少,这就导致了桡足类食物受到限制,从而影响了小型底栖生物的群落结构;另一方面,桡足类相对于线虫和多毛类对环境污染要更为敏感,辽河口由于其地理位置的原因,污

染相对严重,这也可能导致其数量减少^[33-34]。此外,与其他小型底栖生物不同,桡足类主要分布在表层,这也就导致了其更容易被大型底栖动物捕食,成为了控制其种群数量的重要因素之一。

参考文献:

- [1] 张志南,周红. 自由生活海洋线虫的系统分类学[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(6): 891—900.
Zhang Zhinan, Zhou Hong. The systematics of free-living marine nematodes[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(6): 891—900.
- [2] Gerlach S A. On the importance of marine meiofauna for benthos communities[J]. Oecologia, 1971, 6(2): 176—190.
- [3] Fenchel T M. The ecology of micro- and meiobenthos[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1978, 9(1): 99—121.
- [4] Coull B C, Giere O. The History of Meiofauna Research[M]// Introduction to the Study of Meiofauna. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 14—17.
- [5] Moreno M, Vezzulli L, Marin V, et al. The use of meiofauna diversity as an indicator of pollution in harbours[J]. ICES Journal of Marine Science; Journal du Conseil, 2008, 65(8): 1428—1435.
- [6] Kennedy A D, Jacoby C A. Biological indicators of marine environmental health: meiofauna—a neglected benthic component? [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1999, 54(1): 47—68.
- [7] Rudnick D T, Elmgren R, Frithsen J B. Meiofaunal prominence and benthic seasonality in a coastal marine ecosystem[J]. Oecologia, 1985, 67(2): 157—168.
- [8] Elmgren R, Rosenberg R, Andersin A B, et al. Benthic macro- and meiofauna in the Gulf of Bothnia (Northern Baltic)[J]. Finnish Marine Research, 1984, 250: 3—18.
- [9] Jensen P. Meiofaunal abundance and vertical zonation in a sublittoral soft bottom, with a test of the Haps corer[J]. Marine Biology, 1983, 74(3): 319—326.
- [10] Higgins R P, Thiel H. Introduction to the Study of Meiofauna[M]. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 488.
- [11] 王家栋,类彦立,徐奎栋,等. 黄海冷水团及周边海域夏初小型底栖动物现存量及空间分布研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(3): 359—366.
Wang Jiadong, Lei Yanli, Xu Kuidong, et al. An investigation on the biomass, abundance and distribution of meiofauna under the cold water mass and its surrounding areas of the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(3): 359—366.
- [12] 张志南,林崑旋,周红,等. 东、黄海春秋小型底栖生物丰度和生物量研究[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 997—1005.
Zhang Zhinan, Lin Kuixuan, Zhou Hong, et al. Abundance and biomass of meiobenthos in autumn and spring in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5): 997—1005.
- [13] 于婷婷,徐奎栋. 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4556—4566.
Yu Tingting, Xu Kuidong. Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn—winter season[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4556—4566.
- [14] 刘晓收,许嫚,张敬怀,等. 南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(2): 52—59.
Liu Xiaoshou, Xu Man, Zhang Jinghuai, et al. Abundance and biomass of deep-sea meiofauna in the northern South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2014, 33(2): 52—59.
- [15] 慕芳红,张志南,郭玉清. 渤海小型底栖生物的丰度和生物量[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 897—905.
Mu Fanghong, Zhang Zhinan, Guo Yuqing. Abundance and biomass of the benthic meiofauna in the Bohai Sea[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(6): 897—905.
- [16] 郭玉清,张志南,慕芳红. 渤海小型底栖动物丰度的分布格局[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1463—1469.
Guo Yuqing, Zhang Zhinan, Mu Fanghong. Large-scale patterns of meiofaunal abundance in the Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1463—1469.
- [17] 郭玉清,张志南,慕芳红. 渤海海洋线虫与底栖桡足类数量之比的应用研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 27—31.
Guo Yuqing, Zhang Zhinan, Mu Fanghong. The study on the ratio of abundance of nema todes to that of copepods in the Bohai Sea[J]. Marine Sciences, 2002, 26(12): 27—31.
- [18] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB17378. 5—2007, 海洋监测规范 第 5 部分: 沉积物分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 50—55.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration Committee of China. GB17378. 5—2007, The specification for marine monitoring—Part 5: Sediment analysis[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 50—55.
- [19] McIntyre A D. Meiobenthos of sub-littoral muds[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1964, 44(3): 665—674.

- [20] Juario J V. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight[J]. Veröff Inst Meeresforsch Bremerh, 1975, 15: 283—337.
- [21] Widbom B. Determination of average individual dry weights and ash-free dry weights in different sieve fractions of marine meiofauna[J]. Marine Biology, 1984, 84(1): 101—108.
- [22] 陈海燕, 周红, 慕芳红, 等. 北黄海小型底栖生物丰度和生物量时空分布特征[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(4): 657—663.
Chen Haiyan, Zhou Hong, Mu Fanghong, et al. The spatial-temporal distributional characteristics of meiobenthic abundance and biomass in the Northern Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(4): 657—663.
- [23] 张志南, 李永贵, 图立红, 等. 黄河口水下三角洲及其邻近水域小型底栖动物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(3): 197—208.
Zhang Zhinan, Li Yonggui, Tu Lihong, et al. Preliminary study on the ecology of the benthic meiofauna in the Huanghe River estuary and its adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(3): 197—208.
- [24] 华尔, 张志南, 张艳. 长江口及邻近海域小型底栖生物丰度和生物量[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2234—2242.
Hua Er, Zhang Zhinan, Zhang Yan. Abundance and biomass of meiobenthos in the Changjiang (Yangtze River) estuary and its adjacent waters [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2234—2242.
- [25] 张艳, 张志南, 黄勇, 等. 南黄海冬季小型底栖生物丰度和生物量[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 411—419.
Zhang Yan, Zhang Zhinan, Huang Yong, et al. Abundance and biomass of meiobenthos in Southern Yellow sea in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 411—419.
- [26] Heip C H R, Vincx M, Vranken G. The Ecology of Marine Nematodes[M]//Barnes H, Ansell A D, Gibson R N, et al. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. London: Aberdeen University Press, 1985, 23: 399—489.
- [27] Montagna P A, Kalke R D. The effect of freshwater inflow on meiofaunal and macrofaunal populations in the Guadalupe and Nueces Estuaries, Texas[J]. Estuaries, 1992, 15(3): 307—326.
- [28] Bouwman L A, Romeyn K, Kremer D E, et al. Occurrence and feeding biology of some nematode species in estuarine aufwuchscommunities[J]. Cahiers de Biologie Marine, 1984, 25(3): 287—303.
- [29] Liu Xiaoshou, Zhang Zhinan, Huang Yong. Sublittoral meiofauna with particular reference to nematodes in the southern Yellow Sea, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71(3/4): 616—628.
- [30] 袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等. 珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 5962—5971.
Yuan Qiaojun, Miao Suying, Li Hengxiang, et al. Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River estuary in summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5962—5971.
- [31] 毛硕乾, 林霞, 罗杨, 等. 象山港小型底栖动物群落结构及其与环境因子的相关性[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1442—1452.
Mao Shuoqian, Lin Xia, Luo Yang, et al. Community structure of meiofauna and its correlation with environmental factors in Xiangshan Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1442—1452.
- [32] Yingst J Y. Patterns of micro-and meiofaunal abundance in marine sediments, measured with the adenosine triphosphate assay[J]. Marine Biology, 1978, 47(1): 41—54.
- [33] Findlay S E G. Small-scale spatial distribution of meiofauna on a mud- and sand flat[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1981, 12(4): 471—484.
- [34] Raffaelli D G, Mason C F. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods[J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12(5): 158—163.

Spatial distribution and season variation of meiobenthos community in the Liaohe Estuary

Ye Sheng^{1,2}, Kong Fei³, Li Hongjun¹, Liu Min^{1,2}, Li Hongbo¹, Shao Kuishuang¹, Fan Jingfeng¹, Guo Hao¹

(1. Key Laboratory for Ecological Environment in Coastal Areas, National Marine Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Dalian 116023, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 3. Liaoning Marine Environmental Forecasting and Disaster Prevention and Mitigation Center, Shenyang 110001, China)

Abstract: The benthic meiofauna was quantitatively investigated in the Liaohe Estuary in August (summer) in 2013, October (autumn) in 2013 and May (spring) in 2014, and its spatial distribution and season variation were studied. The mean abundance of the meiofauna in summer, autumn and spring was (264 ± 83) ind/(10 cm²), (216 ± 85) ind/(10 cm²) and (227 ± 67) ind/(10 cm²), respectively, and the mean biomass was (272 ± 125) μg/

(10 cm²), (207±89) μg/(10 cm²) and (244±103) μg/(10 cm²), respectively. Compared with other studied areas, the abundance and biomass of meiofauna in Liaohe Estuary were at a low level. A total of 14 meiofauna groups were identified. Free-living marine nematodes were the most dominant group in abundance, with the dominance of 94%, 92.5% and 90.8% in summer, autumn and spring, respectively, followed by polychaetes, benthic copepods and bivalves. In terms of biomass, the dominant groups were polychaetes (41.1%–44.0%), nematodes (33.8%–36.5%) and bivalves (2.6%–6.7%). The study of horizontal distribution showed that the abundance and biomass of the benthic meiofauna in inshore water were generally lower than those in offshore water, except autumn. The study of vertical distribution showed that 95.9% of the meiofauna distributed in the top 0–5 cm sediment. The abundance and biomass of the benthic meiofauna both reached their peak in summer. The correlation analysis indicated that the abundance of meiobenthos high significantly correlated with depth and salinity ($P < 0.01$), and significantly correlated with Chl *a* ($P < 0.05$).

Key words: meiobenthos; Liaohe Estuary; community structure; abundance; biomass; environment variation