

长江口中华鲟保护区及临近水域大型底栖动物群落变迁及其与环境因子的相关性研究

罗民波, 庄平, 沈新强, 王云龙, 张涛, 朱江兴

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:根据 2004 年 5 月、8 月、11 月和 2005 年 2 月(I 年度)及 2005 年 8 月、11 月和 2006 年 2 月、5 月(II 年度)共 2 个水文年对中华鲟幼鱼保护区水域($30^{\circ}15' \sim 31^{\circ}45'N$ 、 $121^{\circ}30' \sim 122^{\circ}15'E$)15 个取样站 8 个航次的底内动物和底上动物样品,对底内动物和底上动物的 ABC 曲线、群落结构及其与环境因子变化进行分析。底内动物 ABC 曲线 2 个年度变化趋势基本一致,W 值在 0.2~0.3 之间,说明长江口中华鲟保护区底内动物群落以较大型底栖动物为主,底上动物 ABC 曲线 2 个年度变化趋势亦一致,W 值在 -0.06~-0.02 之间,说明长江口中华鲟保护区底上动物群落以小型底栖动物为主,且均受到一定程度的干扰。通过对潮下带底内动物和底上动物与环境因子关系的 BIOENV 分析表明,盐度对长江口中华鲟保护区底上动物群落的分布起重要作用,其次为水温 and pH 值,与 DO 和水深的关系不大。底内动物的群落结构在夏季、秋季、冬季与盐度有较大的相关性。

关键词:大型底栖动物;群落;环境因子;长江口;中华鲟保护区

中图分类号:X174 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0230-06

Relationship Between the Community Characteristics and the Environment Factors and the Community Succession of Macrobenthos in Waters Around the Nature Reserve of Juvenile Chinese Sturgeon *Acipenser sinensis* and the Adjacent Waters

LUO Min-bo, ZHUANG Ping, SHEN Xin-qiang, WANG Yun-long, ZHANG Tao, ZHU Jiang-xing

(Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: *Acipenser sinensis* is the first national class protection animal in China. It is atypical model of sea-river migration fish. It is a biggest kind of the individual in existing 27 kinds of sturgeons order in world fish, mainly distributing in the East China Sea, Yellow sea and the Yangtze River in China. Mostly, *Acipenser sinensis* lives in the ocean. From June to August, the mature individual arrives at Yangtze Estuary for procreation migration. In September or October, it reaches Hubei Province along the Yangtze River and gets over the winter there. In October or November of the second year, *Acipenser sinensis* begins to spawn and return to the ocean soon. In spring of the second year, young sturgeon arrived at Changjiang estuary from April to August. After September, the 30 cm-long young sturgeon goes into the ocean successively. Based on the macrobenthos taken in 15 stations from May, 2004 to February 2005 (Year I) and from August, 2005 to May, 2006 (Year II) in Nature Reserve of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*, the species composition, biomass and abundance were obtained. Analysis on relationship between the community characteristics and the environment factors of macrobenthos were discussed. The ABC curves had the similar tendency in the first and the second year. The abundance curve lied above the biomass curve on the infauna while the biomass curve lied above the abundance curve on the epifauna. From the BIOENV analysis, the salinity was the main decisive factor to the distribution of the macrobenthos.

Keywords: macrobenthos; community; environment factors; Yangtze Estuary; Nature Reserve of Juvenile Chinese Sturgeon

收稿日期:2009-09-11

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2008M10);上海市长江口中华鲟自然保护区科研专项

作者简介:罗民波(1972—),男,副研究员,博士,主要从事底栖动物及海洋与河口生态学研究。E-mail: minbl@163.com

通讯作者:王云龙 E-mail: yunlong_wang@citiz.net

河口是一个部分被海岸包围的周期性或永久性被通向大海的水域,由于陆源来水和海水的混合性其中具有可测性的盐度存在^[1-2]。河口生态系统位于河流与海洋生态系统的交汇处,径流与潮流的掺混造成河口地区独特的环境和生物组成特征。底栖动物是河口生态系统中的次级生产者,构成了河口生态系统中的底栖亚系统,实现着能流的调节。绝大多数种类构成食物链中的第二营养级,少数捕食性种类组成了食物链的第三、四营养级,它们对食物网中的能量进行再加工和分配^[3]。河口底栖动物的生态特征具有自己独特的一面,不同于内陆湖泊、河流上游和海洋底栖动物的生态特征,其物种多样性和次级生产力均相对较高。研究河口湿地底栖动物的群落结构变化,尤其是从空间尺度和时间跨度探讨底栖动物群落与环境因子的相互作用,对于研究长江河口中华鲟保护区生态环境变迁具有重要意义。

对于底栖动物与环境因子的相互关系,已经有较多方面的探讨。2000年冬季对深圳湾底栖动物群落进行了调查,结果表明:底栖动物群落沿河口到湾内呈连续的梯度变化,盐度可能是造成这一现象的主要原因;潮汐对底栖动物群落影响并不明显,红树林环境对林底的底栖动物种类组成和丰度有一定的影响^[4]。物种的丰富度与溶解氧的降低和生产力关联不大,而与盐度呈负相关性^[5]。1997—1998年在对葡萄牙的Sado河口盐场大型底栖动物群落演替进行了1a的研究,发现其群落多样性随着河口盐度的增加而减少^[6]。在澳大利亚塔斯马尼亚河口低潮区和浅亚潮区,物种丰富度、大型底栖动物生物量和生产力与盐度和大型植物生物量有很高的相关性,而动物栖息密度仅与大型植物生物量具很高相关性^[7]。张志南等(1990)研究发现,沿黄河口水下三角洲——莱州湾——渤海中部断面,沉积速率递减,相应地,大型底栖动物也呈现不同区系特征^[8]。Mannino等(1997)在研究德克萨斯 Nueces 湾时统计分析表明,沉积物特征(如细颗粒物含量、水含量、总有机碳)的变化与底栖动物丰度和多样性有显著关系^[9]。

为了合理保护中华鲟,2002年建立了上海市长江口中华鲟自然保护区。为了全面了解和弄清中华鲟保护区及其附近海域生态环境质量、生物资源以及中华鲟饵料生物基础等状况,先后有不少学者对此进行了调查研究^[10-12]。但在底栖动物群落的季节、年度变化及其与环境因子相互作用方面尚缺乏系统研究,中华鲟在长江口的洄游极具季节性,长江口的水

文、地理结构较为复杂,尤其是在中华鲟保护区周围已有长江口深水航道工程、洋山深水港工程 and 环境污染及过度捕捞等人为因素的影响,这一区域底栖动物群落演变趋势及其与环境因子的相互关系如何,已变得极为重要。

1 材料与方法

1.1 研究时间、范围及站点布设

2004年5月、8月、11月和2005年2月(I年度)及2005年8月、11月和2006年2月、5月(II年度)在长江口中华鲟自然保护区附近水域进行了8个航次的底栖动物研究。研究范围为北纬 $31^{\circ}19.58'$ ~ $31^{\circ}38'$;东经 $121^{\circ}32.08'$ ~ $122^{\circ}11.65'$ 。本研究共设置15个站位(图2-1-1)。

1.2 采样与计算方法

依据《海洋监测规范》(GB 17378—1998)^[13],底内动物和底上动物^[14]分别用采泥器(0.05 m^2)和网口宽度为1.5 m的阿氏拖网进行底栖生物的采集。采泥器每站采集4次,阿氏拖网每站拖网时间为10 min,拖速为 $1.0\text{ nmil}\cdot\text{h}^{-1}$,每网实际扫海面积为 463 m^2 。底栖动物样品在船上用75%酒精固定保存后带回实验室称重、分析,软体动物带壳称重,并换算成单位面积的生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)和栖息密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)。

底栖动物ABC曲线和生物与环境因子的BIO-ENV分析采用primer5.0软件进行分析,等值线绘图用SURFER7.0软件。

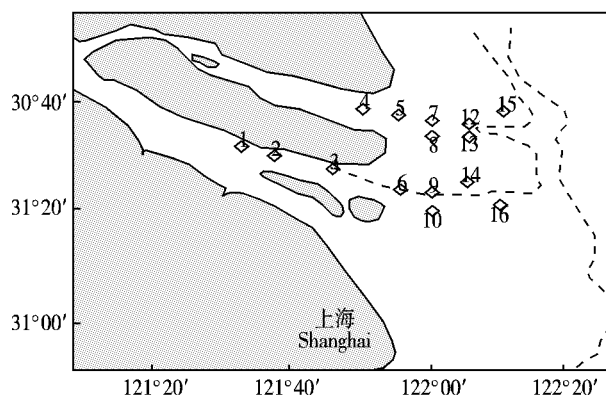


图1 采样点分布

Figure 1 Sampling station

2 结果与分析

2.1 种类组成

2.1.1 底内动物

底内动物共出现15种,种类组成贫乏,I年度长

江口中华鲟幼鱼自然区研究水域共出现底内动物 4 门 13 种,其中春季 4 种,夏季 9 种,秋季 9 种和冬季 7 种,4 季共同出现的种类仅不倒翁虫 *Sternaspis scutata* 一种;Ⅱ年度共出现底内动物 4 门 9 种,其中春季 4 种,夏季 7 种,秋季 2 种和冬季 3 种,4 季共同出现的种类仅纽虫 *Nemertinea* spp. 一种。

2.1.2 底上动物

2 个年度底上动物共出现 59 种。Ⅰ年度底上动物 7 门 47 种,其中甲壳动物居首 19 种,鱼类次之 14 种。秋季种数最高为 30 种,春季次之为 29 种,冬季 18 种,夏季最低为 15 种;Ⅱ年度底上动物 4 门 41 种,其中鱼类居首 17 种,节肢动物次之,为 13 种。夏季

种数最高为 28 种,春季次之为 19 种,秋季 17 种,冬季最低为 12 种。

2.2 生物量与栖息密度平面分布

2.2.1 底内动物

第Ⅱ年度底内动物生物量和栖息密度四季平均值分别为 $0.46 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $6.33 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,其中 2005 年 8 月生物量和栖息密度平均值分别为 $0.94 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $12.67 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;11 月分别为 $0.15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $3.33 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2006 年 2 月分别为 $0.13 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $3.33 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;5 月分别为 $0.61 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $6.00 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。较Ⅰ年度四季生物量 $2.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和栖息密度 $16.33 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 值有较大幅度下降(图 2)。

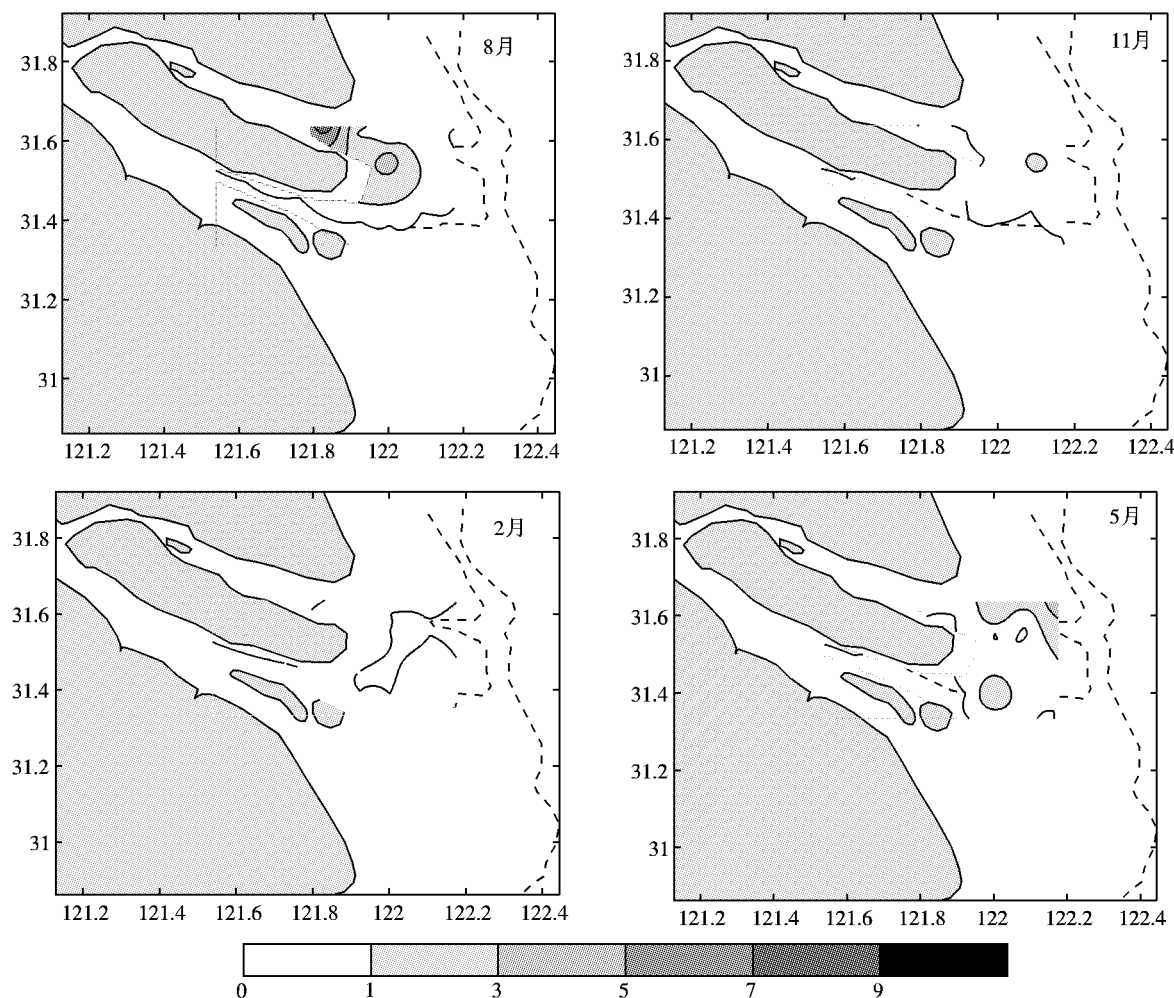


图 2 底内动物生物量平面分布(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

Figure 2 Horizontal distribution of infauna biomass and abundance(unit: $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

2.2.2 底上动物

在第Ⅱ年度,底上动物生物量和栖息密度平均值分别为 $5.94 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $6.05 \times 10^{-2} \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。其中 2005 年 8 月总生物量和总栖息密度平均值分别

为 $6.71 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $10.50 \times 10^{-2} \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2005 年 11 月分别为 $3.09 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $5.21 \times 10^{-2} \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2006 年 2 月分别为 $4.06 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $2.59 \times 10^{-2} \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;2006 年 5 月分别为 9.92×10^{-2}

$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $5.91 \times 10^{-2} \text{个} \cdot \text{m}^{-2}$ 。与 I 年度四季生物量平均值 $25.22 \times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和栖息密度 $7.57 \times$

$10^{-2} \text{个} \cdot \text{m}^{-2}$ 相比,生物量有较大幅度下降,底上动物有向小型化方向变化的趋势(图3)。

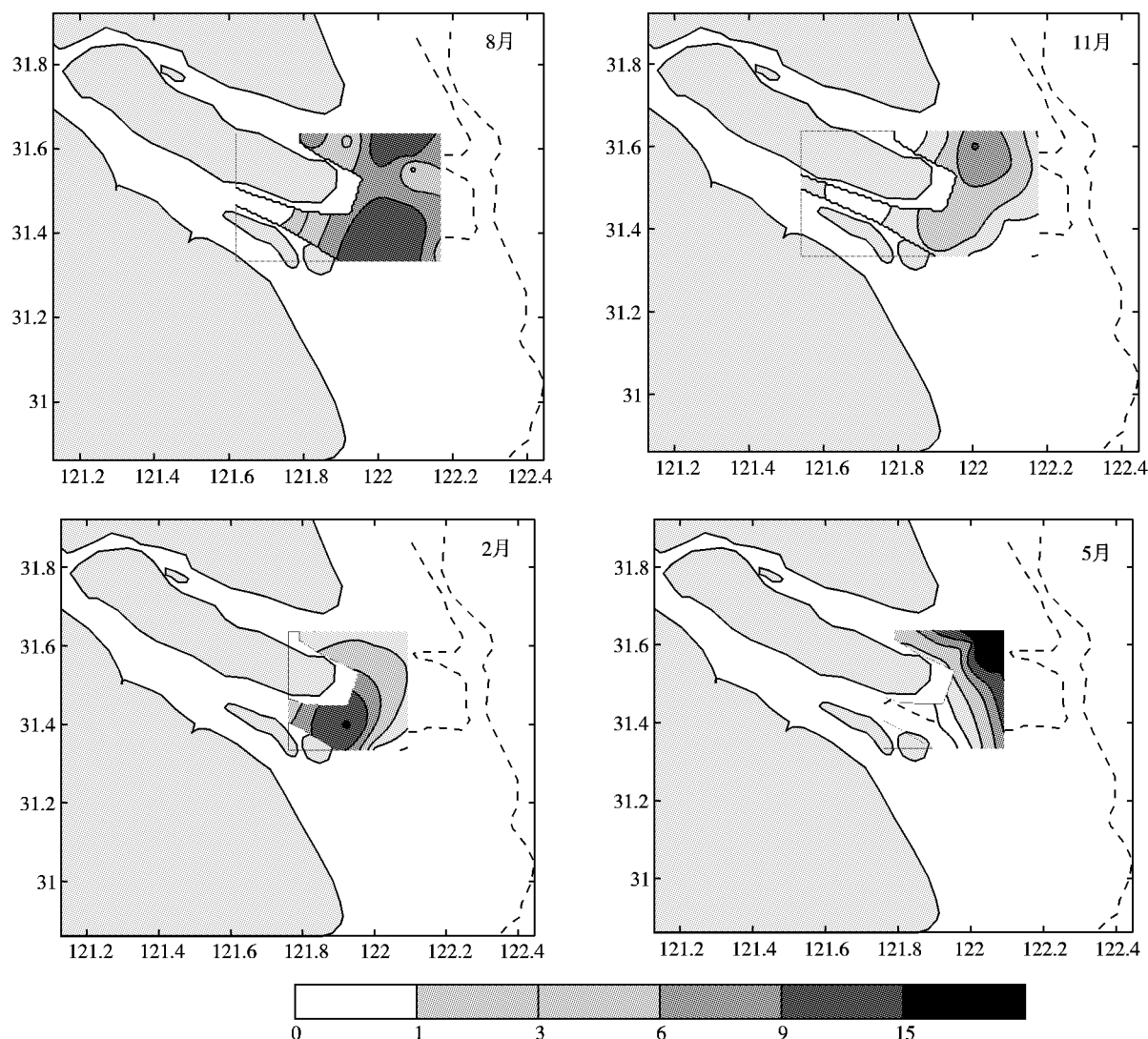


图3 底上动物总生物量平面分布(单位: $1 \times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

Figure 3 Horizontal distribution of epifauna biomass (unit: $1 \times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

2.3 ABC 曲线变化

2个年度中15个站点的ABC曲线变化底内动物变化趋于一致,底上动物的变化趋势亦为基本一致,底内动物生物量曲线在数量曲线之上($W = 0.3$ 和 $W = 0.222$),而底上动物的数量曲线在生物量曲线之上($W = -0.057$ 和 $W = -0.013$)(图4)。总体来讲,底内动物的W值较大,底内动物群落以较大型个体为主,受干扰的程度较小,底上动物各站点的W值均很小,接近于0,可认为各站点的底上群落以小型个体动物为主;但底上动物群落受干扰程度高,底内动物群落受干扰程度相对较小。

2.4 群落与环境因子的关系

运用BIOENV方法分析表明,各季节底上动物群落的结构与水温、盐度、水深、DO和pH值的关系较为复杂(表1)。就各个季节而言,春季与盐度相关系数较高,夏、秋季与水温 and 盐度的相关系数较高,冬季与盐度和水温的相关性较高,在全年范围内,盐度是决定群落分布的最重要的因子,其次为水温和pH值,与DO和水深的关系不大。

底内动物的群落结构在夏季、秋季与冬季与盐度有较大的相关性,春季与秋季与pH值、DO呈较大的负相关。

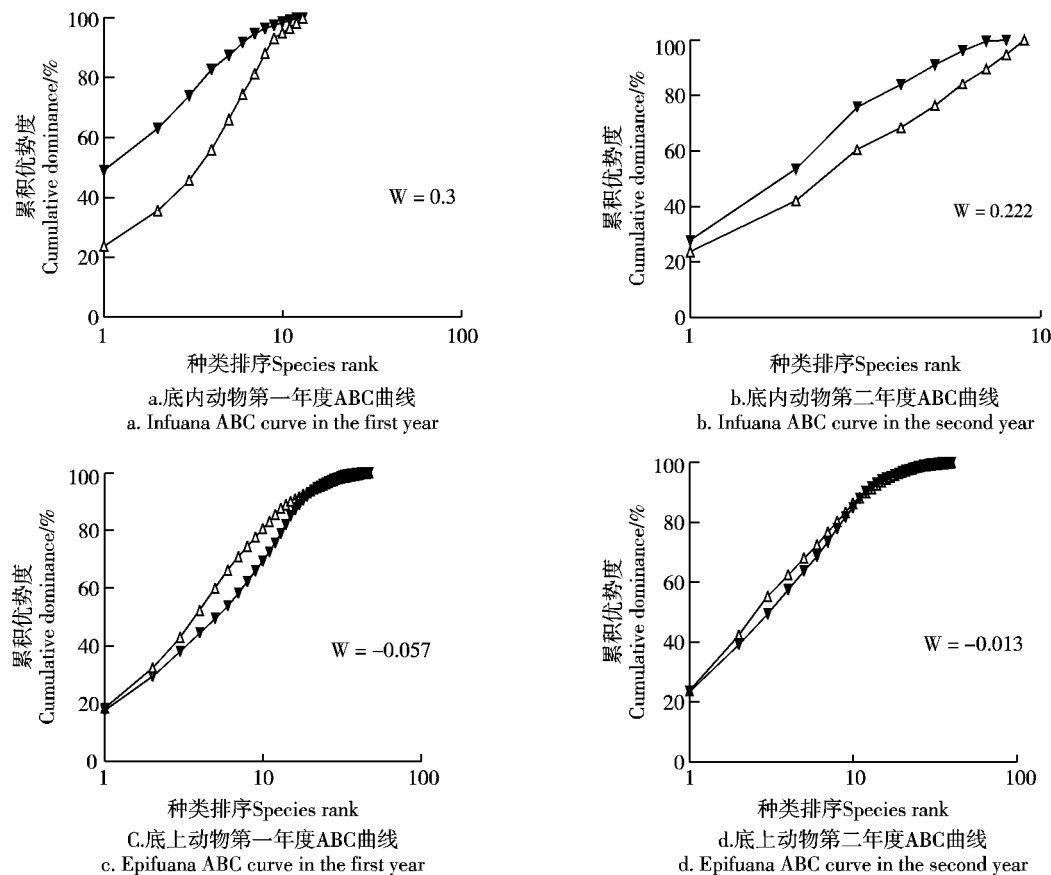


图4 各年度的ABC曲线图

(W 值的大小说明群落干扰的程度如何,正值说明群落未受干扰;负值说明群落已受干扰;△表示栖息密度,▼表示生物量)

Figure 4 ABC curves of sampling sites

(disturb degree depends on W value, plus value indicates the community is undisturbed;
negative value be disturbed, △for density, ▼for biomass)

表1 各季节底内、底上动物群落的丰度与环境因子的 spearman 系数(r)

Table 1 Spearman r coefficient between abundance and environment factors of infauna and epifauna community

环境因子 environment factors	底内动物 infauna					底上动物 epifauna				
	春季	夏季	秋季	冬季	四季	春季	夏季	秋季	冬季	四季
	Spring	Summer	Autumn	Winter	4 seasons	Spring	Summer	Autumn	Winter	4 seasons
水温 Temperature	-0.068	0.163	-0.5	0.163	0.163	-0.11	0.281	0.205	0.536	0.163
盐度 Sanility	-0.09	0.363	0.5	0.363	0.363	0.754	0.218	0.472	0.201	0.363
深度 Depth	-0.102	0.002	0.5	0.002	0.002	-0.072	0.004	-0.088	0.096	0.002
pH	-0.539	0.063	-0.5	0.063	0.063	-0.072	0.309	-0.133	-0.096	0.145
DO	-0.449	0.145	-0.5	0.145	0.145	-0.127	0.179	-0.087	-0.235	0.063

3 讨论

3.1 ABC 曲线变化

ABC 曲线通常能反映大型底栖生物群落的稳定性,正常稳定的群落,其生物量曲线始终位于丰度曲线的上方,丰度比生物量具有更高的多样性,一旦两

条曲线相互交叉或重叠,说明群落受到扰动,群落稳定性下降^[15]。底内动物 ABC 曲线 2 个年度变化趋势基本一致,W 值在 0.2~0.3 之间,说明长江口中华鲟保护区底内动物群落以较大型底栖动物为主,底上动物 ABC 曲线 2 个年度变化趋势亦一致,W 值在 -0.06~-0.02 之间,说明长江口中华鲟保护区底上

动物群落以小型底栖动物为主,且均受到一定程度的干扰,这与整个河口区长期受到过度渔业捕捞、水域环境污染等人为活动影响有关,但年度变化较小。李宝泉等(2007)研究 ABC 曲线发现,近长江口站位的底栖动物群落受到一定程度扰动的趋势,近长江口海域受到的扰动较远离长江口的更大一些,认为污染、渔业活动、长江三峡工程建设对生态和环境的影响等^[16],这些因素都会直接或间接地影响到长江口附近海域大型底栖动物的群落结构。

3.2 潮下带底栖群落结构特征与环境因子

影响底栖动物的环境因子除了温度、盐度、水深、DO 和 pH 值外,还有很多,如污染、人为捕捞和养殖、海流、底泥中的 ATP 含量、有机物含量、POC 的沉积速率、底水界面的 C 通量等^[17],在研究胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系中,认为软体动物的数量分布和季节变化与底质、温度存在较为密切的关系。在对长江口崇明东滩海三棱藨草带大型底栖动物群落的研究中,不同时期海三棱藨草带大型底栖动物群落特征的差异,在很大程度上是水文,包括水动力条件,以及植被等因素综合作用的结果,但在不同时期主导因子或者不同因子协同作用的特征不同^[18]。袁兴中,陆健健等(2002)通过对长江口崇明东滩盐沼海三棱藨草带大型底栖无脊椎动物研究表明,盐沼植被与底栖动物群落有密切的关系,尤其是植株高度、地下部分生物量与底栖动物密度、Shannon - Weiner 多样性指数、物种丰度的相关性最显著^[19],以上两项研究多为潮间带的盐沼植被区域中的底栖动物分布特性。

对长江口区潮下带底栖动物与环境因子的相互关系研究少有报导。本研究中通过对潮下带底内动物和底上动物与环境因子的 BIOENV 方法分析表明,盐度是决定底栖动物分布的首要因子。因为长江口为感潮河口,河口区受潮汐的影响大,水文环境变化复杂,长江口受到径流、潮汐潮流、地形、波浪等多种因素的影响,盐淡水混合时空变化明显,不同地区不同汉道、同一汉道不同河段不同时间其混合程度会出现不同的情况^[20]。盐度对长江口中华鲟保护区底上动物群落的分布起重要作用,其次为水温 and pH 值,与 DO 和水深的关系不大。底内动物的群落结构在夏季、秋季与冬季与盐度有较大的相关性,春季与秋季与 pH 值、DO 呈较大的负相关,这与春、秋季底内动物对 pH 值和 DO 的适应性有较大的关系。

参考文献:

- [1] Lauff G H. Estuaries[J]. *Am Assoc Adv Sci*, 1967, 83: 1 - 757.
- [2] Day J, Hall C, Kemp W M, et. al. Estuarine ecology[M]. New York: Wiley - Interscience; 1989: 338 - 376.
- [3] Donald. The estuary ecosystem[M]. New York: Chapman and Hall, 1989, 113 ~ 132.
- [4] 厉红梅,李适宇,蔡立哲. 深圳湾潮间带底栖动物群落与环境因子的关系[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2003, 42(5): 93 - 96.
- [5] Josefson A B, Hansen J L S. Species richness of benthic macrofauna in Danish estuaries and coastal areas[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(3): 273 - 288.
- [6] Amaral, Maria José, Costa, Maria Helena. Macrobenthic communities of salt pans from the Sado estuary (Portugal) [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20(4): 327 - 332.
- [7] Edgar Graham J, Barrett, Neville S. Benthic macrofauna in Tasmanian estuaries: scales of distribution and relationships with environmental variables[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2002, 270(1): 1 - 24.
- [8] 张志南,图立红. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物分布特征[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 1990, 20(2): 45 - 52.
- [9] Mannino A, Montagna P A. Small - scale spatial variation of macrobenthic community structure[J]. *Estuaries*, 1997, 20(1): 159 - 173.
- [10] 毛翠凤,庄平,刘健,等. 长江口中华鲟幼鱼的生长特性[J]. 海洋渔业, 2005, 27(3): 177 - 181.
- [11] 危起伟,陈细华,杨德国,等. 葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化[J]. 中国水产科学, 2005, 12(4): 452 - 457.
- [12] 张凤英,庄平,徐兆礼,等. 长江口中华鲟自然保护区底栖动物[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1244 - 1249.
- [13] 国家海洋局. 海洋监测规范[S]. 北京:海洋出版社, 1998.
- [14] 陆健健. 河口生态学[M]. 北京:海洋出版社, 2003.
- [15] Warwick, R. M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92: 557 - 562.
- [16] 李宝泉,李新正,王洪法,等. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征[J]. 动物学报, 2007, 53(1): 76 - 82.
- [17] 李宝泉,李新正,于海燕,等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 193 - 198.
- [18] 童春富,章飞军,陆健健. 长江口海三棱藨草带生长季大型底栖动物群落变化特征[J]. 动物学研究, 2007, 28(6): 640 - 646.
- [19] 袁兴中,陆健健,刘红. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 326 - 333.
- [20] 沈焕庭,潘定安. 长江河口最大浑浊带[M]. 北京:海洋出版社, 2001.

致谢: 本项研究工作得到上海市长江口中华鲟自然保护区管理处的大力支持, 中国水产科学研究院东海水产研究所陈渊泉研究员、全为民和平仙隐助理研究员参加本项目的部分采样工作, 谨致谢忱。