

长江河口大型工程与水体生境破碎化

叶属峰^{1,3}, 丁德文^{2,3}, 王文华³

(1. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137; 2. 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 青岛 266061;
3. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240)

摘要: 河口生境是河口生态系统的一个基本组成部分, 是海洋典型生境类型之一。人类活动所导致的河口自然生境破碎化的过程, 是河口综合整治中对河口生态系统影响的一种重要方式。2002 年 5~6 月对长江口深水航道治理一期工程海域水体生境 7 个指标进行取样调查, 研究结果表明: 工程建设已对长江河口海域水体生境破碎化产生了明显影响, 造成局部小尺度海洋水系改变。依盐度可将河口水体生境分为 3 种斑块类型, 依 DO、COM_{Mn}、SiO₃-Si、Chl a 可分为 2、3、3 和 6 种斑块类型, 而依浮游植物(取自然对数)和浮游动物个数总数可分为 4 种和 5 种斑块类型。水体生境 7 个指标的景观多样性指数(*H*)、优势度指数(*D*)和破碎度(*C*)存在着显著差异, *H* 值以 Chl a 最大(0.58), DO 最小(0.04); *D* 值以 COD 最大(0.30), 浮游植物最小(0.08); *C* 值以 Chl a 最大(0.30), DO 最小(0.05)。除盐度外, 2002 年长江口水体 DO 和 COD 的斑块数量以及 *H*、*D* 和 *C* 值均大于一期工程前期(1997 年 5 月)。这表明一期工程建设已对河口水体生境破碎化和生境景观多样性产生明显影响, 水体生境斑块分布格局受一期工程建设导致的河口局部水动力改变影响很大, 值得深入研究。

关键词: 河口大型工程; 生境破碎化; 水体; 长江口

Large-scale estuarine engineering and estuarine habitat fragmentation of water body in the Yangtze River Estuary

YE Shu-Feng^{1,3}, DING De-Wen^{2,3}, WANG Wen-Hua³ (1. East China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China; 2. Key Laboratory of State Oceanic Administration of Environmental Science and Engineering of Marine Ecology, Qingdao 266061, China; 3. School of Environmental Science and Engineering of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 268~272.

Abstract: Estuarine habitat, one of basic components of estuarine ecosystems, is a typical marine habitat. Human activities such as large-scale engineering construction in the estuarine comprehensive regulation have an important impact on estuarine ecosystems, resulting in estuarine habitat fragmentation. In this paper, based on the survey and sampling data of 7 habitat indices carried out during May to June, 2002 in the Yangtze River Estuary, we preliminarily studied and analyzed the impact of the first-stage project of Deep-waterway Regulation on habitat fragmentation of estuarine water body. The estuarine water habitats can be subdivided into 3, 2, 3, 3, 6, 4 and 5 patch types for salinity, DO, COM_{Mn}, SiO₃-Si, Chl a, phytoplankton and zooplankton, respectively. The seascape diversity (*H*), dominance index (*D*) and fragmentation index (*C*) of 7 indices in water body differed significantly. *H* of Chl a is the highest with 0.58 and that of DO the lowest with 0.04; *D* of COD is the highest with 0.30 and that of phytoplankton the lowest with 0.08; *C* of Chl a is the highest with 0.30 and that of DO is the lowest with 0.05. Except for salinity, the number of patches, *H*, *D* and *C* of DO and COD in water body of the Yangtze River Estuary in May are higher than that in May 1997. Our results showed that the large-scale estuarine engineering has had obvious impacts on the habitat fragmentation of water body in the Yangtze River Estuary, resulting in locally small-scale

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412406); 国家海洋局青年海洋科学基金资助项目(2002109)

收稿日期: 2004-04-04; **修订日期:** 2004-11-30

作者简介: 叶属峰(1971~), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海洋生态系统评价研究. E-mail: ysf6@vip.sina.com

Foundation item: National Key Fundamental Research and Development Program of China(No. 2002CB412406) and Youth Foundation of Marine Science of State Oceanic Administration(No. 2002109)

Received date: 2004-04-04; **Accepted date:** 2004-11-30

Biography: YE Shu-Feng, Ph.D., Senior engineer, mainly engaged in marine ecosystem assessment. E-mail: ysf6@vip.sina.com

万方数据

changes in oceanic water mass. The results from this study suggest that the first-stage project of Deep-waterway Regulation has caused habitat fragmentation and significant impact on seascape diversity of estuarine water body. The patch patterns of estuarine water body are related to local hydrodynamic condition caused by the first-stage project, which deserve for further research.

Key words: large-scale estuarine engineering; habitat fragmentation; water body; the Yangtze River Estuary

文章编号:1000-0933(2005)02-0268-05 中图分类号:Q149,Q178.1,Q958.1 文献标识码:A

河口生境是河口生态系统的一个基本组成部分,是海洋典型生境类型之一^[1~5]。目前国际上大多采用生态系统为基础的海洋环境管理方法建立河口生境等级分类体系,水体生境为其中一种海洋景观(seascapes)^[1~3]。海洋生境对介质(水体)的依赖程度更大、流动性更大、局部环境的开放程度更高,与陆地生境存在显著差异^[6]。迄今为止,国外对海洋水体生境的分类进行过研究,但对生境破碎化研究甚少^[1,3~7]。人类活动所导致的河口自然生境破碎成若干小块生境的过程,是河口整治(如大型工程)中对河口生态系统影响的一种重要方式,是人类导致环境退化的一种特殊表征形式^[6]。

生境破碎化概念与理论在海洋自然保护区设计等海洋管理中具有重要应用^[6]。长江口是我国的一个特大型淤泥质三角洲河口,为东海大海洋生态系统的一个重要组成部分,多种海洋水团汇集区,在渔业上是一个重要的生态经济水域^[8,9]。1998年以来,为建立上海国际航运中心而进行的长江口深水航道治理工程建设倍受世界瞩目。全部工程分3期实施10a完成^①。一期工程于1998年1月27日开工建设,2000年7月完成,平均水深已达8.11m。施工内容分为整治建筑物各单项工程、航道疏浚工程(疏浚土方量3182万m³)和主要配套工程3部分。根据2002年5~6月的调查结果,就长江口深水航道治理工程对长江河口水域生境破碎化影响进行了初步研究。

1 材料与方法

研究海域范围为31°00′~31°24′N,121°18′~122°30′E,研究区域总面积为4017.3km²(图1,虚线框)。2002年5月29日~6月8日在研究区域内设26个站位对一期工程海域进行了取样调查,项目包括:盐度(S)、DO、COM_{Mn}、SiO₃-Si、叶绿素a(chl a)、浮游植物个体总数(水样,[N₁])和浮游动物个体总数(水样,[N₂])。所有样品采集、处理与分析均按《海洋监测规范》(GB1998)进行^[10]。

所有数据处理均采用Statistica 6.0软件进行统计分析。线性回归的显著性差异采用F₀值进行检验(df=n-1,df=∞),比较矫正平均值前,检验斜率的均一性。显著性水平设为α=0.05。分别采用SURFER8制图,AUTOCAD(2004版)计算河口水体生境景观斑块面积,景观多样性指数(H)、优势度指数(D)和破碎度(C)的计算公式参考文献^[11]。其中C值计算公式修改如下:C=100Σn_i/A,式中C表示生境破碎度,Σn_i为所有生境类型斑块的总个数;A为生境的总面积。

2 结果与分析

2.1 长江口水体生境斑块分类

根据7个水质指标对河口水体生境进行分类(表1),分类原则是:(1)若有国家标准,如DO,其生境分类则依国标6、5、4、3、2将河口水体生境分为6种斑块类型;(2)若无国家标准,如盐度,则借鉴相关学科分类方式,将盐度依0.5、5、18、30将其分为5个类型(河口、河口低盐水、河口中盐水、河口高盐水和海水水团)^[12];(3)没有现成分类标准,如浮游植物和浮游动物,可根据每个站位水样总个体数(浮游植物取自然对数)将其分为五个类型(表1)。

在长江口一期工程区域,依盐度可将河口水体生境分为3种斑块类型(I、II和III)(表1,图2b),依DO可分为2种斑块类型(V和VI),依COM_{Mn}3种(I、II和III)、SiO-Si3种(II、III和IV)、Chl a6种(I、II、III、IV、V和VI)可分为种斑块类型(表1),而依浮游植物和浮游动物则可分为4种(II、III、IV、V)(表1,图2c)和5种(I、II、III、IV、V)斑块类型(表1,图2d)。

从7个指标生境斑块分类结果来看,长江口工程海域水体生境景观斑块的分布格局受一期工程的影响甚大。与工程前相比,一期工程建设导致了工程海域局部水动力条件发生明显改变,出北槽冲淡水的流向已发生改变,主航道内侧冲淡水水舌顺着导堤方向向东南方向扩展(图2a,b)。长江口冲淡水团是长江口海域的关键水团之一。2002年5月长江河口第11个站位以西区域基本为长江径流所控制;工程海域为咸淡水混合区,完全在长江径流的控制之下,处于长江口最大浑浊带(图2b)。1997年与2002年长江径流的差异以及一期工程导致的局部水动力条件改变是导致两年长江口盐度斑块分布格局差异的主要原因,同时也导致了工程海域期其它指标斑块分布格局的明显不同(图2c,d)。此外,从COD的斑块类型和数量由1997年的1种1个发展成为2002年的5种7个表明(表1),长江口水质质量在5a内已发生了明显变化,2002年明显要劣于1997年。

2.1 长江河口水体生境的景观多样性指数、优势度和破碎度

——— 万方数据 ———

① 中国水产科学研究院东海水产研究所. 长江口深水航道治理工程(一期工程)环境影响评价总报告书. 1997

表 1 1997 年和 2002 年长江口水体生境分类及其斑块类型、数量和面积

Table 1 The classification of water habitats and the comparison of the types, numbers and areas of patches of water habitats in the Yangtze River Estuary in May 1997 and May 2002

指标 Indicators	分类标准 Standard of classification	1997 *			2002		
		斑块类型 Types of patches	斑块数量(个) Number of patches	斑块面积 (km ²)Areas of patches	斑块类型 Types of habitats	斑块数量(个) Number of patches	斑块面积(km ²) Areas of patches
盐度(S)	0<[S]<0.5	I	1	943.0	I	1	1399.3
Salinity	0.5<[S]<5	II	2	640.3	II	1	1939.6
	5<[S]<18	III	1	1713.1	III	2	678.5
	18<[S]<30	IV	1	720.9	IV	0	0
	[S]≥30	V	0	0	V	0	0
DO(mg/L)	[DO]≤2	I	0	0	I	0	0
Dissolved	2<[DO]≤3	II	0	0	II	0	0
oxygen	3<[DO]≤4	III	0	0	III	0	0
	4<[DO]≤5	IV	0	0	IV	0	0
	5<[DO]≤6	V	0	0	V	1	69.4
	[DO]≥6	VI	1	4017.3	VI	1	3948.0
COM _{Mn} (mg/L)	[COD] ≤2	I	1	4017.3	I	2	3532.3
Chemical Oxygen	2<[COD]≤3	II	0	0	II	4	433.2
Demand by Mn	3<[COD]≤4	III	0	0	III	1	51.9
method	4<[COD]≤5	IV	0	0	IV	0	0
SiO ₃ -Si(mg/L)	[Si] _i <1	I	—	—	I	0	0
Silicate	1<[Si] _i <2	II	—	—	II	1	144.3
	2<[Si] _i <3	III	—	—	III	1	1722.4
	3<[Si] _i <4	IV	—	—	IV	1	2150.6
	[Si] _i ≥4	V	—	—	V	0	0
Chl a (μg/L)	[Chl a] _i <5	I	—	—	I	5	927.8
Chlorophyll a	5<[Chl a] _i <10	II	—	—	II	2	1499.5
	10<[Chl a] _i <15	III	—	—	III	2	1172.2
	15<[Chl a] _i <20	IV	—	—	IV	2	383.7
	[Chl a] _i ≥20	V	—	—	V	1	34.2
浮游植物个体总数	lg(N ₁)* * <2	I	—	—	I	0	
(N ₁ ,水样,个/m ³)	2(lg(N ₁))<3	II	—	—	II	2	1477.9
Individuals of	3(lg(N ₁))<4	III	—	—	III	1	1594.3
phytoplankton	4(lg(N ₁))<5	IV	—	—	IV	2	685.0
in water sample	lg(N ₁))≥5	V	—	—	V	1	260.1
						0	
浮游动物个体总数	N ₂ <100	I	—	—	I	3	1345.5
(N ₂ ,个/m ³)	100≤N ₂ <200	II	—	—	II	2	1907.3
Individuals of	200≤N ₂ <300	III	—	—	III	3	661.1
zooplankton in	300≤N ₂ <400	IV	—	—	IV	2	93.1
water sample	N ₂ ≥400	V	—	—	V	1	10.4

* 来源于国家海洋局东海环境监测中心历史监测数据 Represents data is from East China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration; * * 取水样个体总数的自然对数(lgN₁)作为分类标准 Represents lg(N₁) as the standard of classification of water habitat; — 没有数据 Represents no data

从表 2 看出,长江河口水体生境的景观多样性指数(H)、优势度指数(D)和破碎度(C)在不同指标上存在着显著差异。景观多样性指数以 Chl a 最大(0.58),DO 最小(0.04);优势度指数以 COD 最大(0.30),浮游植物最小(0.08);单位面积的各种斑块总个数——C 值^[11],则以叶绿素 a 和浮游动物的景观破碎度最大(0.30 和 0.27),溶解氧和硅酸盐的最小(0.05 和 0.07)(表 2)。

人类活动强度与生境景观破碎度成正比关系^[11]。高强度的人类活动,河口大型工程建设——长江河口深水航道治理一期工程的建设改变了河口地貌、沉积相分布与水动力条件^①。对水体生境来说,以改变局部水动力为基础,将原来较大的自然水体景观斑块分割成许多较小的斑块,进而增加了水体生境的破碎度。结果表明,除盐度外,2002 年长江口水体 DO 和 COD 的斑块数量以及 H、D 和 C 值均大于一期工程前期(1997 年)(表 2)。由此可见一期工程的建设对河口水体生境景观多样性的影响甚大。

① 中国水产科学研究院东海水产研究所. 长江口深水航道治理工程(一期工程)环境影响评价总报告书. 1997

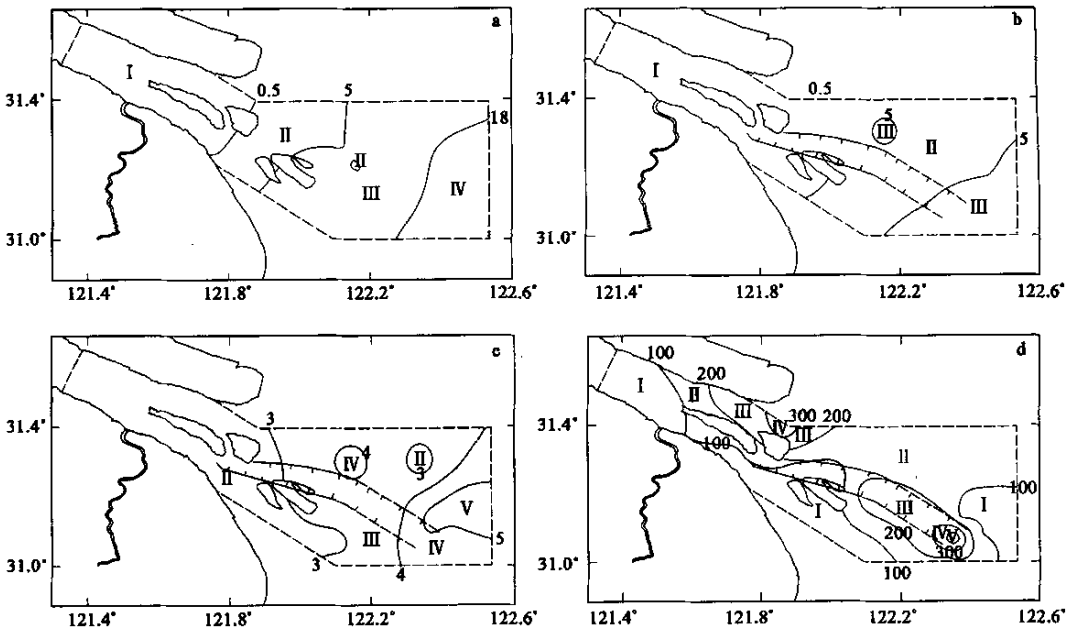


图 2 长江河口水体生境斑块图

Fig. 2 The patches of habitats of water column in the of the Yangtze River Estuary

a 1997 年 5 月盐度 Salinity in May 1997;b 2002 年 5 月盐度 Salinity in May 2002;c,d 2002 年 5 月浮游植物和浮游动物 Phytoplankton and zooplankton in May 2002

表 2 1997 年和 2002 年长江口水体景观多样性、优势度和破碎度比较

Table 2 The comparison of seascape diversity, dominance index and fragmentation of water habitats in the Yangtze River Estuary in May 1997 and May 2002

指标 Indicators	1997 年 5 月 May 1997			2002 年 5 月 May 2002		
	景观多样性 指数(H) Seascape diversity	景观优势度(D) Dominance index of seascapes	景观破碎度(C) Fragmentation index (patches/km ²)	景观多样性 指数(H) Seascape diversity	景观优势度(D) Dominance index of seascapes	景观破碎度(C) Fragmentation index (patches/km ²)
盐度(S)Salinity	0.57	0.04	0.12	0.44	0.03	0.10
DO Dissolved oxygen	0	0	0.02	0.04	0.26	0.05
COD Chemical Oxygen Demand	0	0	0.02	0.18	0.30	0.17
SiO ₃ -Si Silicate	—	—	—	0.35	0.12	0.07
Chl a Chlorophyll a	—	—	—	0.58	0.12	0.30
浮游植物个体总数(N ₁ ,水 样)Individuals of phytop- lankton in water sample	—	—	—	0.53	0.08	0.15
浮游动物个体总数(N ₂) Individuals of zooplankton in water sample	—	—	—	0.49	0.21	0.27

— 没有数据 Represents no data

3 结语

河口属陆海相互作用强烈带,亦为敏感区和脆弱带,河口水体生境受高强度人类活动的影响非常大。长江口深水航道治理一期工程,以改变河口地貌、沉积相分布和局部水动力条件为基本特征,对河口生境破碎化的影响是非常明显的。研究结果证实,航道治理一期工程建设已对长江口水体生境 7 个指标的斑块类型和数量、景观多样性、优势度和破碎度的造成明显影响。而且,这种影响通过诸多要素之间的相互作用(表 3),并通过食物网关系,将会导致河口生态系和鱼类饵料基础的动态变化,从而导致河口生态系统服务功能的演变。

表 3 长江河口盐度与其它生态因子的线性回归参数

Table 3	Linear regression parameters of the relationships between salinity and other ecological factors in the Yangtze River Estuary					
项目 Items	回归方程 Regressive equations	N	F _(1,23)	R	P	
[S]-[DO]	[DO] = 7.5042 - 0.0871×[S]	25	32.48	-0.7651	<0.01**	
[S]-[COD]	[COD] = 1.7016 - 0.0469×[S]	25	58.37	-0.8470	<0.01	
[S]-[SiO ₃ -Si]	[SiO ₃ -Si] = 3.1523 - 0.0710×[S]	25	1118.67	-0.9899	<0.01	
[S]-[Chl a]	[Chl a] = -16.63 + 21.9×[S]	24	49.36 ^①	0.8317	<0.01	
[S]-[sp1 ^③]	[sp1] = 3.6194 + 0.2348×[S]	17	24.48 ^②	0.7875	<0.01	
[S]-[N ₂]	[N ₂] = -14200 + 9852.5×[S]	17	15.29 ^②	0.7105	<0.01	

* 差异显著 Significantly different ($P<0.05$); ** 差异极显著 Greatly significantly different ($P<0.01$); ① $F(1,22)$, $n=26$, ② $F(1,15)$;
③水样浮游植物种类数 The number of phytoplankon species in water samples

生境破碎化理论对区域物种多样性和资源管理具有重要价值。河口生境破碎化除水体外,底栖生境和渔业生境破碎化是另外两个非常重要方面,值得深入研究。因此,建议加强河口底栖生境和渔业资源生境破碎化研究,为长江河口生态系统恢复提供理论基础。

References:

[1] Connor D W, Allee J H, Golding N, *et al.* The national marine habitat classification for Britain and Irish. Version 03.02. Introductory Text. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2003.

[2] John L A, Hiscock K and Connor DW. Marine habitat reviews. A summary of ecological requirements and sensitivity characteristics for the conservation and management of marine SACs. Peterborough, Joint Nature Conservation Committee (UK Marine SACs Project report), 2000.

[3] Allee R J, Dethier M, Brown D, *et al.* Marine and estuarine ecosystem and habitat classification. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-43, 2000.

[4] Golding N, Vincent MA and Connor DW. The Irish Sea Pilot-report on the development of a marine landscape classification for the Irish Sea. JNCC report No. 346, 2004.

[5] Laffoley D d'A, Connor DW, Tasker M L, *et al.* Nationally important seascapes, habitats and species. A recommended approach to their identification, conservation and protection. Prepared for the DETR[R] Working Group on the Review of Marine Nature Conservation by English Nature and the Joint Nature Conservation Committee. Peterborough, English Nature, 2000. 17.

[6] Carr M H, Neigel J E, Estes J A, *et al.* Comparing marine and terrestrial ecosystems: implications for the design of coastal marine reserves. *Ecological Applications*, 2003, 90~107.

[7] Lumb C M, Webster M, Golding N, *et al.* The Irish Sea Pilot: Report on collation and mapping of data. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2004.

[8] Chen Y Q, Gong Q, Huang W P, *et al.* A study on the characteristics and status of fishery in the Changjiang Estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(5): 48~51.

[9] Yang H S, Zhong X Y, Han J D, *et al.* The effect of water pollution on fisheries of the Changjiang Estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(5): 78~82.

[10] State Oceanic Administration. *Specifications of oceanographic survey*. Beijing: Ocean Press, 1998.

[11] Chen L D, Fu B J. Analysis on impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta—a case study of Dongying Region. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(4): 337~344.

[12] Chen J Y. The dynamic sedimentation, development and Deep Waterway Regulation of sand bar and submerge delta. *Journal of East China Normal University*, (Special issue: the Deep Waterway regulation and ports construction in Changjiang Estuary), 1995. 1~22.

[12] Sheng Z L. The effects of the physic-chemical environment on the primary productivity in the Yangtze River Estuary. *Transactions of Oceanography and Limnology*, 1993, (1): 47~51.

参考文献:

[8] 陈渊泉, 龚群, 黄卫平, 等. 长江河口区渔业资源特点、渔业现状及其合理利用的研究. 中国水产科学, 1999, 6(5): 48~51.

[9] 杨鸿山, 钟霞芸, 韩金娣, 等. 长江口水质污染及其对渔业的影响. 中国水产科学, 1999, 6(5): 78~82.

[10] 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 1998.

[11] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东东营市为例. 生态学报, 1996, 16(4): 337~344.

[12] 陈吉余. 长江口拦门沙及水下三角洲的动力沉积、演变和深水航道治理. 华东师范大学学报(长江口深水航道治理与港口建设专辑), 1995, 1~22.

[13] 沈志良. 长江口海区理化环境对初级生产力的影响. 海洋湖沼通报, 1993, (1): 47~51.