

文章编号:1000-0615(2007)02-0199-05

底栖动物对长江口水域生态环境的修复作用

沈新强, 陈亚瞿, 全为民, 罗民波, 王云龙

(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:2002年3月在长江口新建的北导堤N6区段试投放底栖动物10t的基础上,2004年3月在南、北导堤通过投放以巨牡蛎为主的底栖动物5t,开展底栖生物修复试验。试验结果表明:经过15个月,试验区底栖动物种类共有21种,比本底值增加了9.5倍;总生物量和总栖息密度分别为 $26\,489.43\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $3\,399.11\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,比本底值分别增加了40.31倍和7.50倍,Shannon-Wiener多样性指数为0.98,比本底值提高了3.08倍。其中巨牡蛎生物量和栖息密度增加明显,巨牡蛎的生物量和栖息密度分别为 $19\,328.84\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $918.67\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,分别是所投放巨牡蛎生物量和栖息密度的483.39倍和140.47倍。初步评估整个长江口导堤巨牡蛎的总重量已达719\,076t以上,已初步形成以附着型贝类为主的底栖动物群落。根据2005年6月的测定结果,推算出整个长江口导堤巨牡蛎对营养盐和重金属的累积量为:N为 $986\times 10^3\text{ kg}$ 、P为 $67\times 10^3\text{ kg}$ 、Cu为16\,675kg、Zn为39\,258kg、Pb为410kg、Cd为171kg、Hg为0.118kg和As为222kg。

关键词:底栖动物;生态环境;修复;长江口水域

中图分类号:S 931.3; X 171.4

文献标识码:A

Restoration effect of benthos on the ecological environment of the Changjiang River estuary

SHEN Xin-qiang, CHEN Ya-qu, QUAN Wei-min, LUO Min-bao, WANG Yun-long

(Key Lab of Marine and Estuary Fisheries Certificated by the Ministry of Agriculture, East China Sea
Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: A restoration experiment of benthos was conducted on the newly built northern and southern guided dykes located at the Changjiang River estuary. Ten tons of benthos had been put in the N6 region of northern guided dyke in March of 2002 and 5 tons of benthos (main *Crassostrea* sp.) were put on the inter-tide zone of the northern and southern guided dykes with 10\,000 m long in March of 2004. The mean biomass and mean density of putting benthos were $43.15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $10.70\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ respectively in 2004. The result shows that the benthos reaches 21 species, the biomass and density are $26\,489.43\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $3\,399.11\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ respectively, Shannon-Wiener diversity index is 0.98 in the experiment zone, after 15 months. The species number, biomass, density and diversity index increased 9.5 times, 40.31 times, 7.50 times and 3.08 times respectively compared with the background. Among them, the biomass and density of *Crassostrea* sp. are $19\,328.84\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $918.67\text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, increased 483.39 times and 140.47 times

收稿日期:2006-09-25

资助项目:中国水产科学研究院基金项目(2003-1-1);社会公益研究专项(2005DIB3J021)

作者简介:沈新强(1951-),男,研究员,主要从事渔业生态与环境研究。E-mail: esrms@public2.sta.net.cn

respectively compared with putting biomass and density. The preliminary estimating result is that the total weight of *Crassostrea* sp. has reached 719 076 tons in the northern and southern guided dykes. The benthos community with main adhesive oysters has been preliminarily formed and it can offer quality food for fish in this area. The estimated values of accumulating number for N, P, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg and As are 986 000 kg, 67 000 kg, 16 675 kg, 39 258 kg, 410 kg, 171 kg, 0.118 kg and 222 kg respectively based on the monitoring result in June of 2005. It plays important role in improving the water quality of the Changjiang River estuary.

Key words: benthos; Changjiang River estuary; ecological environment; restoration

长江口水域独特的地理环境条件成为多种鱼、虾、蟹类繁殖、肥育及仔幼鱼的生长场所, 又是海淡水间洄游性鱼类的通道, 生长栖息着咸淡水混合鱼类、降海性和溯河性鱼类, 其中有些是重要经济鱼种, 有些是国家珍稀保护鱼类, 还有许多是养殖苗种资源, 在渔业上是一个重要的生态经济水域^[1]。但近年该区渔业资源呈持续退化趋势, 如生态系统内部优势种交替, 个别种群衰退、枯竭; 种群内部结构变化, 个体变小, 性成熟提前; 生命周期长、营养级别高的优质品种被短周期, 低营养级的品种替代等等, 同时出现饵料基础的退化现象, 底栖生物的物种大幅减少, 生物量明显减少, 群落结构趋向简单, 生物多样性下降^[2-3]。该水域污染和富营养化严重, 导致赤潮频发^[4-5]。

本研究通过对在长江口新建的南、北导堤上移植放流巨牡蛎 *Crassostrea* sp. 等底栖动物的生态修复措施, 来促进底栖生物的繁殖与生长, 提高底栖动物生物量和多样性, 形成以附着型贝类为主的河口底栖动物群落, 并对实施生态修复试验的效果进行了分析与评价。

1 材料与方法

1.1 底栖动物的移植

2002年3月在长江口新建的北导堤 N6 区段投放底栖动物 10 t, 其中巨牡蛎约 300 万个^[6]的基础上, 2004年3月在长江口新建的南北导堤(地理位置位于 31°8'39"N ~ 31°12'38"N, 122°04'26"E ~ 122°14'56"E)共设置 7 个放流投放点(近导堤堤基), 实施了底栖动物的移植放流。投放的巨牡蛎于 2003年4月在浙江象山港采苗、挂养在旧轮胎上, 形成以巨牡蛎为主的群落型底栖动物单元, 一直到 2004年3月起捕。本次移植放流群落型底栖动物单元 1 500 个轮胎, 平均每个轮胎上的底栖动物生物量为 3.463 kg, 合计 5.195

t。其中南导堤投放底栖动物的生物量为 3.11×10^6 g, 投放距离为 6 000 m; 北导堤投放底栖动物的生物量为 2.09×10^6 g, 投放距离为 4 000 m; 平均投放生物量为 $43.15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 栖息密度投放量平均为 $10.70 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 投放的巨牡蛎生物量占总投放生物量的 92.71%, 投放的巨牡蛎栖息密度占总投放栖息密度的 61.12%。各投放点的位置和数量见图 1 和表 1。经抽样鉴定, 单个轮胎上底栖动物的种类有巨牡蛎等 12 种, 各种类的数量和生物量见表 2。

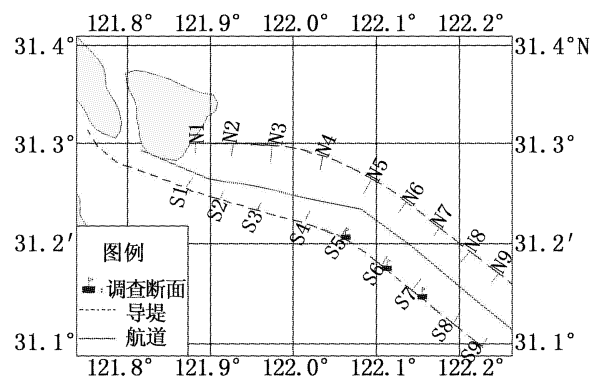


图 1 长江口导堤位置图

Fig. 1 Geographic location of guided dykes in Changjiang River estuary

1.2 放流区生态环境现状监测

为评估底栖动物移植的生态修复效果, 在 2004年4月、9月和 2005年6月对南导堤的潮间带底栖生物分布进行了监测(图 1), 2005年6月在 N6、S5、S6-S7 和 S7-S8 区段采集放流的巨牡蛎并对体内氮、磷和重金属残留进行测定和生物富集系数计算。巨牡蛎体内 Cu、Zn、Pb 和 Cd 均采用火焰原子吸收分光光度法测定, Hg 和 As 的测定采用原子荧光法, 监测与分析方法按《海洋监测规范》^[7]进行, 巨牡蛎体内氮和磷分别按《食品中蛋白质的测定》^[8]和《食品中磷的测

定》^[9]进行。底栖动物样品在现场用 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($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)。Shannon-Wiener 多样性指数(H')计算公式参见文献[10],生物富集系数 BCF = 生物体内重金属含量/水体中重金属含量^[11]。

表 1 底栖动物放流位置与数量
Tab.1 Geographical position and quantity of throwing benthos

序号 number	地理位置 geographical position	投放距离(m) throwing distance	投放轮胎群落数 number of throwing tyres	投放面积(m^2) throwing area	投放平均生物量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) mean throwing biomass
1	31°12'36"N 122°04'15"E	2000	300	24000	43.15
2	31°12'38"N 122°10'47"E	2000	300	24000	43.15
3	31°10'14"N 122°14'56"E	2000	300	24000	43.15
4	31°08'39"N 122°09'40"E	1200	180	14400	43.15
5	31°10'11"N 122°06'59"E	800	120	9600	43.15
6	31°11'46"N 122°04'26"E	880	132	10560	43.15
7	31°10'26"N 122°07'58"E	1120	168	13440	43.15
合计 total		10000	1500	120000	43.15

表 2 单个轮胎上底栖动物的种类与数量

Tab.2 The species composition of benthos in the single tyre

种 类 species		数量(ind) individual	生物量(g) biaomass
中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name		
海绵	<i>Calcarea</i> sp.	18	0.61
海葵	<i>Sagartiidae</i> sp.	82	12.55
加州齿吻沙蚕	<i>Nephtys californiensis</i>	6	0.48
日本刺沙蚕	<i>Neanthes japonica</i>	18	1.70
小头虫	<i>Capitella capitata</i>	6	0.18
泥螺	<i>Bullacta exarata</i>	5	0.75
青蚶	<i>Barbatia virescens</i>	99	20.88
贻贝	<i>Mytilus edulis</i>	51	1.26
网纹藤壶	<i>Balanidae reticulatus</i>	22	33.75
巨牡蛎	<i>Crassostrea</i> sp.	524	3210.09
棘刺牡蛎	<i>Ostrea echinata</i>	25	180.25
合计 total		856	3 62.50

2 结果

2.1 移植贝类的生长和增殖

经对 2004 年 3 月、2004 年 9 月和 2005 年 6 月所采巨牡蛎各 50 个样本,按自然分布规律大小统计,巨牡蛎单个体平均规格,2004 年 3 月放流时壳长为 3.90 cm、壳高为 2.52 cm,在 2005 年 6 月的调查中,壳长为放流时壳长的 1.28 倍,壳高为放流时的 1.22 倍,大小规格呈现增大趋势,从

增长速度上,2004 年 3 月到 2004 年 9 月增长较快,2004 年 9 月到 2005 年 6 月增长速度变缓;壳长与壳高的增长上,壳长的增长率高于壳高的增长率。单个体平均重量有较大幅度增长,在 2005 年 6 月的调查中,巨牡蛎单个体重为 2004 年 3 月的 3.43 倍,经曲线拟合,2004 年 3 月放流到 2005 年 6 月共 15 个月的增长期内,巨牡蛎单个平均重量的变化呈现为 $y = 2.9968e^{0.6169x}$ (y 为巨牡蛎单个体重量, x 为放流后的月份)的指数增长曲线, $R^2 = 0.9296$ 。

在 2004 年 3 月南导堤本底调查中,组成生物量和栖息密度的优势种类为白脊藤壶和巨牡蛎,其生物量为 $641.28 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,栖息密度为 $400.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,物种多样性指数为 0.24。

2004 年 9 月在南导堤投放区域调查,巨牡蛎的生物量增殖量为 $1478.68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,是所投放巨牡蛎生物量的 36.98 倍,南导堤增殖放流区域巨牡蛎的栖息密度为 $204.29 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,为投放栖息密度的 31.24 倍;物种多样性为 0.97。

在 2005 年 6 月调查中,底栖动物共有 21 种,优势种为巨牡蛎、白脊藤壶和近江牡蛎(表 3),南导堤的生物量为 $26 489.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,栖息密度为 $3 399.11 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,其中巨牡蛎生物量为 $19 328.84 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,是所投放巨牡蛎生物量的

483.39倍;南导堤物种多样性为0.98,比2004年3月的本底值提高了0.74。

表3 南导堤区底栖生物种类组成
Tab.3 The species composition of benthos in the southern guided dyke

中文名 Chinese name	种 类 species 拉丁名 Latin name	采样时间 sampling time	
		2004-03	2005-06
海葵	<i>Sagartitidae</i> sp.		+
日本刺沙蚕	<i>Neanthes japonica</i>		+
龙介虫	<i>Serpula vermicularis</i> Linnaeus		+
双纹须蚶	<i>Barbatia bistrigata</i> Dunker		+
贻贝	<i>Mytilus edulis</i> Linne		+
巨牡蛎	<i>Crassostrea</i> sp.	+	+
近江牡蛎	<i>Ostrea rivularis</i> Gould		+
纹斑菱蛤	<i>Trapezium</i> (<i>Neotrapezium</i>) <i>liratum</i> Reeve		+
中间拟滨螺	<i>Littorinopsis intermedia</i> Philippi		+
条延螺	<i>Nerita</i> (<i>Ritena</i>) <i>striata</i> Burrow		+
丽核螺	<i>Mitrella bella</i> Reeve		+
白脊藤壶	<i>Balanus albicostatus</i> Pilsbry	+	+
光背节鞭水虱	<i>Synidotea laevidorsalis</i> Miers		+
拟盖鳃水虱科	<i>Pseudidotheidae</i> sp.		+
日本鼓虾	<i>Alpheus japonicus</i> Miers		+
粗糙毛刺蟹	<i>Pilumnus seabriusculus</i>		+
大额蟹	<i>Geograpsus crinipes</i> Dana		+
宽额大额蟹	<i>Metopograpsus latifrons</i> White		+
绒螯近方蟹	<i>Hemigrapsus sanguineus</i> de Haan		+
无齿相手蟹	<i>Sesarma haematocheir</i> de Haan		+
双齿相手蟹	<i>Sesarma tripectinis</i> Shen		+

2.2 生物体残留量

2005年6月份采集放流区南导堤和北导堤牡蛎,进行牡蛎体内氮、磷和重金属残留量的分析。分析结果显示,氮、磷平均含量分别为 8.36×10^3 和 $0.57 \times 10^3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;重金属Cu、Zn、Pb、Cd、Hg和As平均含量分别为141.36、332.87、3.48、1.45、0.001和1.88 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大小顺序为:Zn > Cu > Pb > As > Cd > Hg(表4),各站点牡蛎体内重金属含量差异不大。

3 讨论

许多实验研究表明,底栖动物群落在底栖-浮游耦合和营养物质的释放过程中起着非常大的作用^[12-13]。在某些沿岸和河口,底栖动物在限制浮游生物初级和次级生产量中有重要作用^[14]。贝类作为滤食性动物,能有效降低河口水体中的悬浮物及藻类,Cloern^[15]推算食悬浮物的双壳类

一天至少能够将南旧金山湾的水体过滤一遍,底栖动物的捕食可能是控制夏季和秋季南旧金山湾浮游生物量的主要原因。Lu等^[16]报道海湾扇贝*Argopecten irradians concentricus* (Say)可在Tampa Bay河口完成全部生活史,可以海湾扇贝恢复此河口的生物种群,进而恢复河口区生境。双壳类软体动物牡蛎通常在其软组织中累积高浓度的重金属和有机污染物^[11],可有效降低水域中的重金属含量,起到净化水体作用。

表4 导堤区牡蛎对氮、磷和重金属的累积量
Tab.4 Standing stock of nutrients and heavy metals in the oyster on the guided dyke

项目 items	牡蛎体内的平均浓度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) average concentration	富集系数 ($\times 10^3$) bioconcentration factors	累积量 (kg) standing stock
N	8.36×10^3		986×10^3
P	0.57×10^3		67×10^3
Cu	141.4	14.28 ± 2.41	16675
Zn	332.9	12.75 ± 2.02	39258
Pb	3.48	0.56 ± 0.79	410
Cd	1.45	14.51 ± 3.71	171
As	1.88	0.59 ± 0.20	222
Hg	0.001	0.09 ± 0.04	0.118

在长江口新建的导堤移植放流的巨牡蛎对环境的适应能力较强,属于一种广温性和广盐性的贝类,适宜生长的盐度范围为10~30,水温为3~32℃,垂直分布于潮间带中、低潮区及潮下带浅海。放流区域饵料丰富,导堤周围人工岩礁面积大,为巨牡蛎的繁殖提供了大量的附着岩基。岩礁多位于中低潮区,放流前其它动物种类较少,导堤生态系统中巨牡蛎的种间竞争小,加上适宜的自然条件和充足的饵料基础,易形成优势种群,占据大量的生态位,数量迅速增加,个体大小和个体重量呈增大趋势,成为导堤生态系统中的优势生态类群。经过15个月的生长繁殖,有效地提高了示范区底栖生物生物量和底栖生物多样性,初步形成以附着型贝类为主的河口底栖动物群落,大量牡蛎附着于长江口新建的导堤,每年5-8月繁殖出大量贝类幼体(面盘幼体)可为长江口水域多种经济鱼类提供优质饵料。

长江口导堤的所有混凝土构件表面积约为7440 hm^2 。巨牡蛎生态修复工作是利用南北导堤和19座丁坝的工程结构开展(包括2002年在北导堤放流的巨牡蛎300万只)。根据2005年6月

调查,长江口导堤 1/2 以上的表面积均被巨牡蛎所附着,长江口南导堤巨牡蛎栖息区的平均现存量为 $19.33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。以此可以推算出整个长江口南北导堤上巨牡蛎的总重量约为 719 076 t。据测定,巨牡蛎鲜肉平均含量约为 16.4%,所以长江口导堤巨牡蛎鲜肉量约为 117 928 t。巨牡蛎对各种重金属的生物累积系数(BCFs)在 $10^2 \sim 10^4$ 之间,尤其对 Cu、Zn 和 Cd 的富集能力较强,重金属平均富集能力的大小顺序为: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Hg}$ 。长江口导堤巨牡蛎对河口水质的改善起着重要的作用,尤其能大量去除水体中的 N、P 与重金属 Cu 和 Zn。特别须指出,巨牡蛎体内各重金属要素的平均浓度已大都超过水产品中有毒有害限量要求^[17],不适合直接采集,供食用。

参考文献:

- [1] 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[J].中国水产科学,1999,6(5):48-51.
- [2] 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,2003:742-764.
- [3] 王金辉,黄秀清,刘阿成,等.长江口及邻近水域的生物多样性变化趋势分析[J].海洋通报,2004,23(1):32-39.
- [4] 沈新强,袁琪,王云龙.长江口杭州湾附近渔业水域生态环境质量评价研究[J].水产学报,2003,27(增刊):76-81.
- [5] 叶属峰,袁丁,黄秀清,等.长江口及邻近海域赤潮形势及其成灾可能性和影响途径[C]//海峡两岸水资源暨环境保护上海论坛论文集.西安:陕西人民出版社,2002:273-278.
- [6] 陈亚瞿,叶维均,徐兆礼,等.上海湿地利用和保护[M].上海:上海科学技术出版社,2003:115-121.
- [7] GB17378.7-1998,海洋监测规范[S].
- [8] GB/T5009.5-2003,食品中蛋白质的测定[S].
- [9] GB/T5009.87-2003,食品中磷的测定[S].
- [10] 王焕校.污染生态学[M].北京:高等教育出版社及施普林格出版社,2000:23-138.
- [11] Lim P E, Lee C K, Din Z. Accumulation of heavy metals by cultured oysters from Merbok estuary [J]. Marine Pollution Bulletin (Malaysia), 1995, 31 (4-12): 420-423.
- [12] Dame R F, Zingmark R G, Haskin E. Oyster reefs as processors of estuarine materials [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1984, 83: 239-247.
- [13] Jacques G, Laurent C. Marine eutrophication and benthos: the need for new approaches and concepts [J]. Global Change Biology, 2002, 8 (9): 813-830.
- [14] Officer C B, Smayda T J, Mann R. Benthic filter feeding: a natural eutrophication control [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1991, 69: 179-188.
- [15] Cloern J M. Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay? [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982, 9: 91-202.
- [16] Lu Y T, Blake N J. The culture of the southern bay scallop in Tampa Bay, an urban Florida estuary [J]. Aquaculture International, 1997, 5(5): 439-450.
- [17] NY5073-2001,无公害食品 水产品中有毒有害物质限量[S].