

兴化湾潮间带大型底栖生物群落生态研究*

林和山 王建军^① 黄雅琴 林俊辉 何雪宝
刘 坤 郑成兴 李荣冠

(国家海洋局第三海洋研究所海洋生物与生态实验室 厦门 361005)

摘要 分别于 2005 年 11 月(秋季)和 2006 年 5 月(春季)两个季节,在兴化湾潮间带 4 条断面取样,共鉴定大型底栖生物 189 种。其中,多毛类、甲壳类和软体动物占总种数的 90.5%,是该海域的主要优势类群。优势种主要有寡鳃卷吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、中蚓虫(*Mediomastus* sp.)、异蚓虫(*Heteromastus* sp.)、珠带拟蟹守螺(*Cerithideopsisilla cingulata*)和侧理蛤(*Theora lata*)等。平均栖息密度和生物量分别为 326 ind/m² 和 32.35 g/m²。空间分布上,栖息密度和生物量的垂直分布次序为:中潮区>低潮区>高潮区,水平分布具有湾内向湾口递减的趋势;对比两个季节,春季的平均栖息密度和生物量均大于秋季。群落结构分析显示,兴化湾潮间带大型底栖生物群落结构不稳定,群落发生扰动。

关键词 兴化湾; 潮间带大型底栖生物; 物种多样性; 群落结构

中图分类号 S932 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)01-0015-07

兴化湾是福建省最大的港湾和重要的水产养殖基地,拥有海域面积 619.4 km²,滩涂面积 250 km²,属于淤积型的构造基岩海湾(中国海湾志编纂委员会,1994)。兴化湾海洋生物资源丰富,是水禽重要的越冬、迁徙停歇地,水禽总数超过 1.1 万只(宋师兰,2004),其中珍稀鸟类黑脸琵鹭也在此越冬(刘伯峰,2006)。近年来,随着福建加快海峡西岸经济建设,兴化湾几乎整个海湾岸线都分布有规模大小不同的围填海工程。根据统计资料及地形图量算,20 世纪 50 年代后围填海总面积达 122.08 km²,约占整个海湾的 19.62%(马志远等,2009)。兴化湾海湾生态系统承受的压力较大且有增加趋势,生态系统状态的恶化趋势较明显(程建新等,2012)。

底栖生物由于运动能力不强,常固着并生活于海底,通过摄食、掘穴等活动参与碳、氮、磷、硫等元素的生物地球化学循环,并影响着污染物的转化与迁移,能对自然和人类活动导致的水或沉积环境质量的

变化做出可预测的响应。我国的科研工作者对海岛、港湾、红树林、养殖滩涂等潮间带大型底栖生物做了大量的工作,主要涉及大型底栖生物的生物多样性、群落结构及次级生产力等内容(周时强等,2001;厉红梅等,2003;郑成兴等,2004;林秀春等,2006;梁俊彦等,2008;周细平等,2010;黄雅琴等,2010)。而兴化湾潮间带滩涂地处海陆和咸淡水交汇区域,是一个具有很强的生态服务功能的自然综合体,是海洋生态系统中生产力较高的区域(Holland,1996;Keddy,2000)。由于其特殊的地理位置,使潮间带大型底栖生物群落不仅受陆海环境的影响,又受自然和人为的控制和干扰。随着沿岸人口的增长以及沿海经济的发展,潮间带大型底栖生物群落受人类活动的干扰日益突显,生境质量的改变往往导致生物群落结构、物种多样性和数量分布的变化。

在海湾地区港口、临海工业、海洋农牧业快速发展及城市化进程不断加快的背景下,亟需研究大型底

* 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费(海三科 2013006)和国家海洋局海洋生态环境科学与工程重点实验室开放基金(MESE-2014-02)共同资助。林和山, E-mail: linheshan@tio.org.cn

^① 通讯作者:王建军,副研究员, E-mail: wjj5358@sina.com

收稿日期:2015-01-28,收修改稿日期:2015-05-12

栖生物群落结构及其多样性的时空分布特征;探讨大型底栖生物对人类活动干扰的响应作用,为海湾开发、管理与保护提供科技支撑,促进海湾经济的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2005年11月(秋季)和2006年5月(春季),在兴化湾选定湖尾(X1)、东山(X2)、东沃(X3)和琚下(X4)4条断面(图1)进行潮间带大型底栖生物调查。其中,X1和X4断面底质以沙为主,X2和X3断面高潮区为石堤和山岩底质,中、低潮区为泥底。每条断面在高、中、低3个潮区共布设5个站位,每站取样面积为 $1/8\text{ m}^2$,标本处理、室内分析及资料的整理均按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)要求进行。物种鉴定及名录登记均通过WoRMS网站(<http://marinespecies.org/>)进行校对和复核。

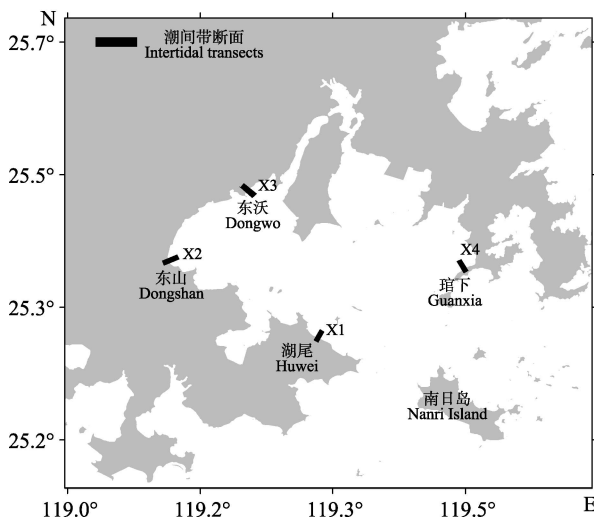


图1 兴化湾潮间带大型底栖生物调查断面
Fig.1 Investigation transection of intertidal benthos in the Xinghua Bay

1.2 数据分析

各多样性指数以及相对重要性指数(*IRI*)(Pinkas *et al.*, 1971)由下列公式计算所得:

$$\text{Margalef 物种丰度指数: } d = (S-1) / \log_2 N$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J' = H' / \log_2 S$$

$$\text{Simpson 物种优势度: } D = \sum_{i=1}^S (P_i)^2$$

$$IRI = (W + N') \cdot F \cdot 10^4$$

式中, N 为采泥样品中所有种类的总个体数目, S 为采泥样品中的种类总数, P_i 为第*i*种的个体数与样品中的总个体数的比值(n_i/N), W 为某一种类的生物量占总生物量的百分比, N' 为某一种类的丰度占总丰度的百分比, F 为该种类的出现频率。物种丰度计算方法为:物种在各站位的平均栖息密度,如某站没有出现该种,则不计入。采用PRIMER5.0软件进行上述指数的计算。

采用丰度/生物量比较法(李荣冠等,1992)分析潮间带大型底栖生物群落受污染或其他因素扰动情况,其中,丰度为物种在各站位的平均栖息密度,如某站没有出现该种,则不计入。

2 结果

2.1 种类组成

共鉴定潮间带大型底栖生物189种,隶属于11门95科。其中,多毛类93种,甲壳类45种,软体动物33种,三者占总种数的90.5%,是构成兴化湾潮间带大型底栖生物的主要优势类群;藻类、棘皮动物和其他生物各有5种、6种和7种。4条断面种数为春季(147种)>秋季(107种),各断面种数也均为春季>秋季(表1)。

综合出现频率、栖息密度及生物量,该海域的优势种($IRI > 100$)主要有寡鳃卷吻沙蚕(*N. oligobranchia*)、中蚓虫(*Mediomastus sp.*)、异蚓虫(*Heteromastus sp.*)、珠带拟蟹守螺(*C. cingulata*)和侧理蛤(*T. lata*)等。表2为两个航次中相对重要性指数值大于100的种名录,可以看出,不同季节种群的相对重要性差异较大。春季的优势种主要有寡鳃卷吻沙蚕、中蚓虫、异蚓虫、珠带拟蟹守螺、秀丽纹织螺(*N. festivus*)、侧理蛤、彩虹明樱蛤(*M. iridescens*)和棘刺锚参(*P. bidentata*);秋季的优势种主要有中蚓虫、寡鳃卷吻沙蚕、稚齿虫(*Prionospio sp.*)、独毛虫(*Tharxy sp.*)、缢蛏(*S. constricta*)和模糊新短眼蟹(*N. obscurus*)。

各潮区大型底栖生物常见种(出现频率 $f > 0.2$)的垂直分布见图2。高潮区的常见种主要有以粗糙滨螺(*L. articulata*)(岩石)和痕掌沙蟹(*O. stimpsoni*)(砂质)等;中潮区主要为泥沙滩底质,常见种主要有寡鳃卷吻沙蚕、中蚓虫、异蚓虫、珠带拟蟹守螺、侧理蛤、彩虹明樱蛤和模糊新短眼蟹等;低潮区亦为泥沙滩底质,常见种主要有中蚓虫、异蚓虫、寡鳃卷吻沙蚕、薄片裸赢蛭(*C. lamellatum*)、模糊新短眼蟹和棘刺锚参等。

表 1 潮间带大型底栖生物种类的季节变化
Tab.1 Seasonal variation of the numbers of intertidal benthic species

季节 Season	断面 Transect	藻类 Algae	多毛类 Polychaeta	软体动物 Mollusk	甲壳类 Crustacea	棘皮动物 Echinodermata	其他生物 Others	合计 Total
春季 Spring	X1	2	26	9	14	2	1	54
	X2	0	19	11	6	0	3	39
	X3	1	33	16	10	2	1	63
	X4	1	47	6	13	1	3	71
	合计 Total		4	75	27	32	4	5
秋季 Autumn	X1	1	14	3	2	0	0	20
	X2	0	9	4	12	2	2	29
	X3	0	19	10	9	0	0	38
	X4	0	42	4	15	1	1	63
	合计 Total		1	58	15	28	2	3
年总计 Total		5	93	33	45	6	7	189

表 2 潮间带大型底栖生物的相对重要性指数
Tab.2 The index of relative importance (IRI) of macrobenthos

春季 Spring	IRI	秋季 Autumn	IRI
侧理蛤 <i>T. lata</i>	966	中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.	259
寡鳃卷吻沙蚕 <i>N. oliobranchia</i>	426	模糊新短眼蟹 <i>N. obscurus</i>	236
珠带拟蟹守螺 <i>C. cingulata</i>	329	缢蛭 <i>S. constricta</i>	176
中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.	315	寡鳃卷吻沙蚕 <i>N. oliobranchia</i>	129
异蚓虫 <i>Heteromastus</i> sp.	264	稚齿虫 <i>Prionospio</i> sp.	121
棘刺锚参 <i>P. bidentata</i>	138	独毛虫 <i>Tharyx</i> sp.	113
秀丽织纹螺 <i>N. festivus</i>	122		
彩虹明樱蛤 <i>M. iridescens</i>	119		

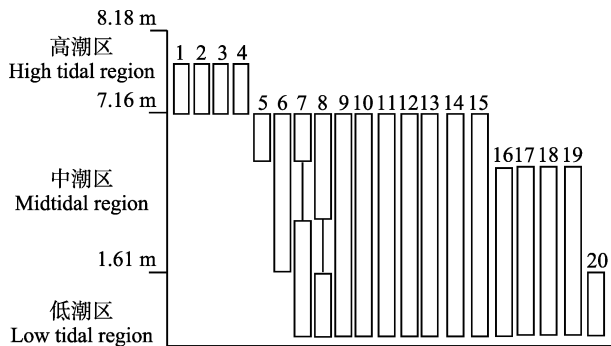


图 2 兴化湾潮间带大型底栖生物主要种的垂直分布
Fig.2 Vertical distribution of important species in the Xinghua Bay

1. 痕掌沙蟹, *Ocyropsis stimpsoni*;
2. 粗糙滨螺, *Littoraria articulata*;
3. 短滨螺, *Littorina brevicula*;
4. 直背小藤壶, *Chthamalus moro*;
5. 大角玻璃钩虾, *Hyale grandicornis*;
6. 短拟沼螺, *Assiminea brevicula*;
7. 彩虹明樱蛤, *M. iridescens*;
8. 珠带拟蟹守螺, *C. cingulata*;
9. 拟突齿沙蚕, *Paraleonnates uschakovi*;
10. 寡鳃卷吻沙蚕, *N. oliobranchia*;
11. 中蚓虫, *Mediomastus* sp.;
12. 异蚓虫, *Heteromastus* sp.;
13. 模糊新短眼蟹, *N. obscurus*;
14. 背蚓虫, *Notomastus* sp.;
15. 似蛭虫, *Amaeana trilobata*;
16. 侧理蛤, *T. lata*;
17. 长锥虫, *Leitoscoloplos pugettensis*;
18. 塞切尔泥钩虾, *Eriopisella sechellensis*;
19. 薄片裸赢蛭, *Corophium lamellatum*;
20. 棘刺锚参, *P. bidentata*

2.2 数量组成

2.2.1 水平和垂直分布 该海域潮间带大型底栖生物的平均栖息密度为 326 ind/m², 以软体动物、多毛类和甲壳类为主要密度优势类群; 平均生物量为 32.35 g/m², 以软体动物、甲壳类和多毛类为主。4 条断面中, 平均栖息密度 X2>X3>X4>X1, 其中, X2 断面的平均栖息密度可达 484 ind/m², X1 断面的平均栖息密度仅为 108 ind/m²; 平均生物量在断面的分布表现为 X3>X2>X1>X4, 其中, X3 断面的平均生物量为 58.06 g/m², X4 断面的平均生物量为 14.72 g/m²(表 3)。

研究区域 4 条断面的平均栖息密度的垂直分布次序为中潮区>低潮区>高潮区, X1 和 X4 断面密度分布次序为低潮区>中潮区>高潮区, X2 断面是中潮区>低潮区>高潮区, X3 断面是中潮区>高潮区>低潮区; 平均生物量的垂直分布次序为低潮区>中潮区>高潮区, X1 和 X2 断面生物量分布次序为低潮区>中潮区>高潮区, X3 断面是中潮区>高潮区>低潮区, X4 断面是低潮区>高潮区>中潮区(表 4)。

2.2.2 季节变化 如图 3 所示, 除了 X4 断面, 其余断面的平均栖息密度均是春季大于秋季; 各条断面

表3 各断面栖息密度和生物量的水平分布

Tab.3 Horizontal distribution of density and biomass at different sections in the Xinghua Bay

季节 Season	断面 Transect		藻类 Algae	多毛类 Polychaeta	软体动物 Mollusk	甲壳类 Crustacea	棘皮动物 Echinodermata	其他生物 Others	合计 Total
春季 Spring	X1	密度 Density	0	54	7	107	12	4	184
		生物量 Biomass	0.13	2.59	18.24	2.61	16.90	0.16	40.63
	X2	密度 Density	0	180	600	26	0	10	816
		生物量 Biomass	0.00	4.98	17.55	3.58	0.00	0.17	26.28
	X3	密度 Density	0	289	222	29	2	2	545
		生物量 Biomass	0.11	7.10	46.50	6.70	6.36	0.08	66.86
	X4	密度 Density	0	142	8	45	1	3	199
		生物量 Biomass	0.14	6.43	0.59	1.62	0.56	0.77	10.12
秋季 Autumn	X1	密度 Density	0	25	3	3	0	0	31
		生物量 Biomass	0.02	3.19	4.67	0.84	0.00	0.00	8.73
	X2	密度 Density	0	81	22	43	3	2	152
		生物量 Biomass	0.00	1.78	25.74	8.99	0.40	0.66	37.57
	X3	密度 Density	0	76	168	129	0	0	372
		生物量 Biomass	0.00	2.38	43.11	3.76	0.00	0.00	49.26
	X4	密度 Density	0	189	6	108	1	1	304
		生物量 Biomass	0.00	6.68	0.58	11.72	0.28	0.07	19.33
年平均 Annual mean		密度 Density	0	129	130	61	2	3	326
		生物量 Biomass	0.05	4.39	19.62	4.98	3.06	0.24	32.35

表4 兴化湾各断面栖息密度和生物量的垂直分布

Tab.4 Vertical distribution of density and biomass at different sections in the Xinghua Bay

季节 Season	断面 Transect	高潮区 High tidal region		中潮区 Midtidal region		低潮区 Low tidal region	
		密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass	密度 Density	生物量 Biomass
春季 Spring	X1	1	5.58	196	8.81	333	171.16
	X2	40	15.36	1289	29.83	174	26.56
	X3	96	14.24	770	91.37	316	45.92
	X4	0	0.00	212	10.47	357	19.20
秋季 Autumn	X1	0	2.76	20	11.87	96	5.28
	X2	48	13.44	163	19.59	222	115.64
	X3	752	42.24	307	65.13	188	8.64
	X4	8	39.20	386	10.92	356	24.68
年平均 Annual mean		118	16.60	418	31.00	255	52.14

的平均生物量的季节变化如图4。X1和X3断面生物量的分布是春季大于秋季，而X2和X4断面则是秋季大于春季(图4)。

2.3 生物多样性

兴化湾潮间带大型底栖生物的种数为春季(57种)大于秋季(38种); 丰度指数(d)的年均值为4.53, 春季

(5.12)大于秋季(3.94), 其中, 春季X4断面的 d 值可达7.04; 多样性指数(H')的年均值为3.97, 春季(3.71)小于秋季(4.23), 春季X4断面的 H' 值可达5.34, 而春季X2断面的 H' 值仅为2.22; 均匀度指数(J')的年均值为0.72, 春季(0.62)小于秋季(0.81), 秋季的均匀度普遍较高, 春季X1和X2断面的 J' 值均小于0.50; 优势度指数(D)的年均值为0.14, 春季X1和X2断面

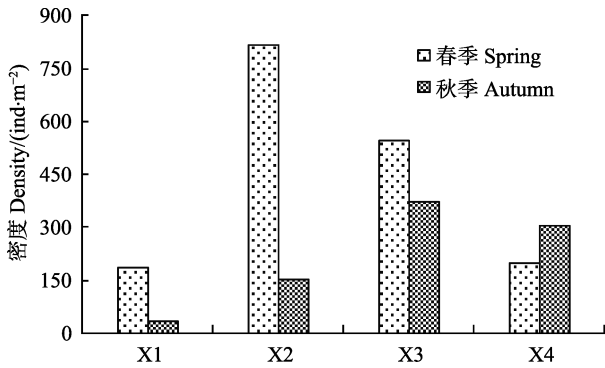


图 3 平均栖息密度的季节变化

Fig.3 Seasonal variation of density of intertidal benthos in the Xinghua Bay

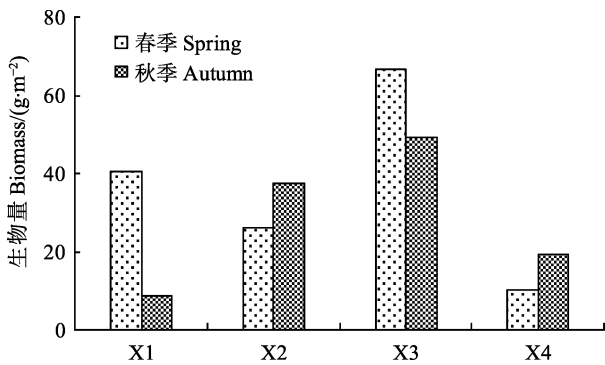


图 4 平均生物量的季节变化

Fig.4 Seasonal variation of biomass of intertidal benthos in the Xinghua Bay

表 5 兴化湾潮间带大型底栖生物群落多样性
Tab.5 Community diversity of intertidal benthos in the Xinghua Bay

季节 Season	断面 Transect	种数 Species number	<i>d</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>	<i>D</i>
春季 Spring	X1	54	4.92	2.79	0.48	0.31
	X2	39	3.08	2.22	0.41	0.34
	X3	63	5.43	4.48	0.74	0.08
	X4	71	7.04	5.34	0.86	0.04
	平均 Mean	-	5.12	3.71	0.62	0.19
秋季 Autumn	X1	20	3.11	4.09	0.89	0.08
	X2	29	2.95	4.06	0.83	0.08
	X3	38	3.75	3.79	0.70	0.13
	X4	63	5.93	4.98	0.82	0.05
	平均 Mean	-	3.94	4.23	0.81	0.09
年平均 Annual mean	-	-	4.53	3.97	0.72	0.14

的 *D* 值较高, 均超过 0.30(表 5)。多样性指数与均匀度呈明显的正相关关系, 而与优势度呈明显的负相关关系。均匀度越高, 优势度越低, 多样性指数就越高。

春季 X1 和 X2 断面, 由于出现大量的大角玻璃钩虾 (*H. grondicornis*) 和侧理蛤, 使得该断面的优势度指数较高, 而多样性指数和均匀度指数均较低。

2.4 群落稳定性

应用丰度生物量比较法(ABC 曲线)对兴化湾潮间带大型底栖生物群落结构进行分析, 如图 5 所示。结果显示, 春季 X3、秋季 X1、X2 和 X3 等大型底栖生物群落, 其丰度生物量复合 k-优势度曲线不交叉、不重叠、不翻转, 生物量复合 k-优势度曲线始终位于丰度曲线上方, 且丰度生物量累积百分优势度不高; 而春季 X1、X2、X4 和秋季 X4 等大型底栖生物群落, 丰度生物量复合 k-优势度曲线出现不同程度交叉、重叠和翻转, 总体显示兴化湾潮间带大型底栖生物群落结构不稳定。

3 讨论

兴化湾潮间带大型底栖生物已鉴定的种类共有 189 种, 其中, 多毛类、甲壳类和软体动物占总种数的 90.5%, 是构成兴化湾潮间带大型底栖生物的主要优势类群, 优势种 (*IRI*>100) 主要有寡鳃卷吻沙蚕、中蚓虫、异蚓虫、珠带拟蟹守螺和侧理蛤等。不同季节种群的相对重要性差异较大。春季的优势种主要有寡鳃卷吻沙蚕、中蚓虫、异蚓虫、珠带拟蟹守螺、秀丽织纹螺、侧理蛤、彩虹明樱蛤和棘刺锚参; 秋季的优势种主要有中蚓虫、寡鳃卷吻沙蚕、稚齿虫、独毛虫、缢蛏和模糊新短眼蟹。与福建其他港湾相比, 兴化湾潮间带大型底栖生物种数高于深沪湾(49种)和三沙湾(109种), 但低于湄洲湾(225种)和泉州湾(324种)(周时强等, 2001; 厉红梅等, 2003; 林秀春等, 2006; 周细平等, 2010)。

兴化湾潮间带大型底栖生物平均栖息密度为 326 ind/m², 平均生物量为 32.35 g/m²。空间分布上, 密度和生物量的垂直分布次序为中潮区>低潮区>高潮区, 水平分布具有湾内向湾口递减的趋势, 这主要与底质类型有关; 对比两个季节, 春季的平均栖息密度和生物量均大于秋季, 这主要是因为春季是潮间带大型底栖生物的繁殖季节, 栖息密度和生物量均较高。

群落结构分析表明, 春季 X1、X2、X4 和秋季 X4 等泥沙滩群落, 丰度生物量复合 k-优势度曲线出现不同程度交叉、重叠和翻转, 这与侧理蛤在春季大量繁殖, 个体小重量轻, 栖息密度高达 2812 ind/m², 而生物量仅为 36.16 g/m² 有关。总体显示, 兴化湾潮间带大型底栖生物群落结构不稳定, 潮间带大型底栖生物群落发生扰动。

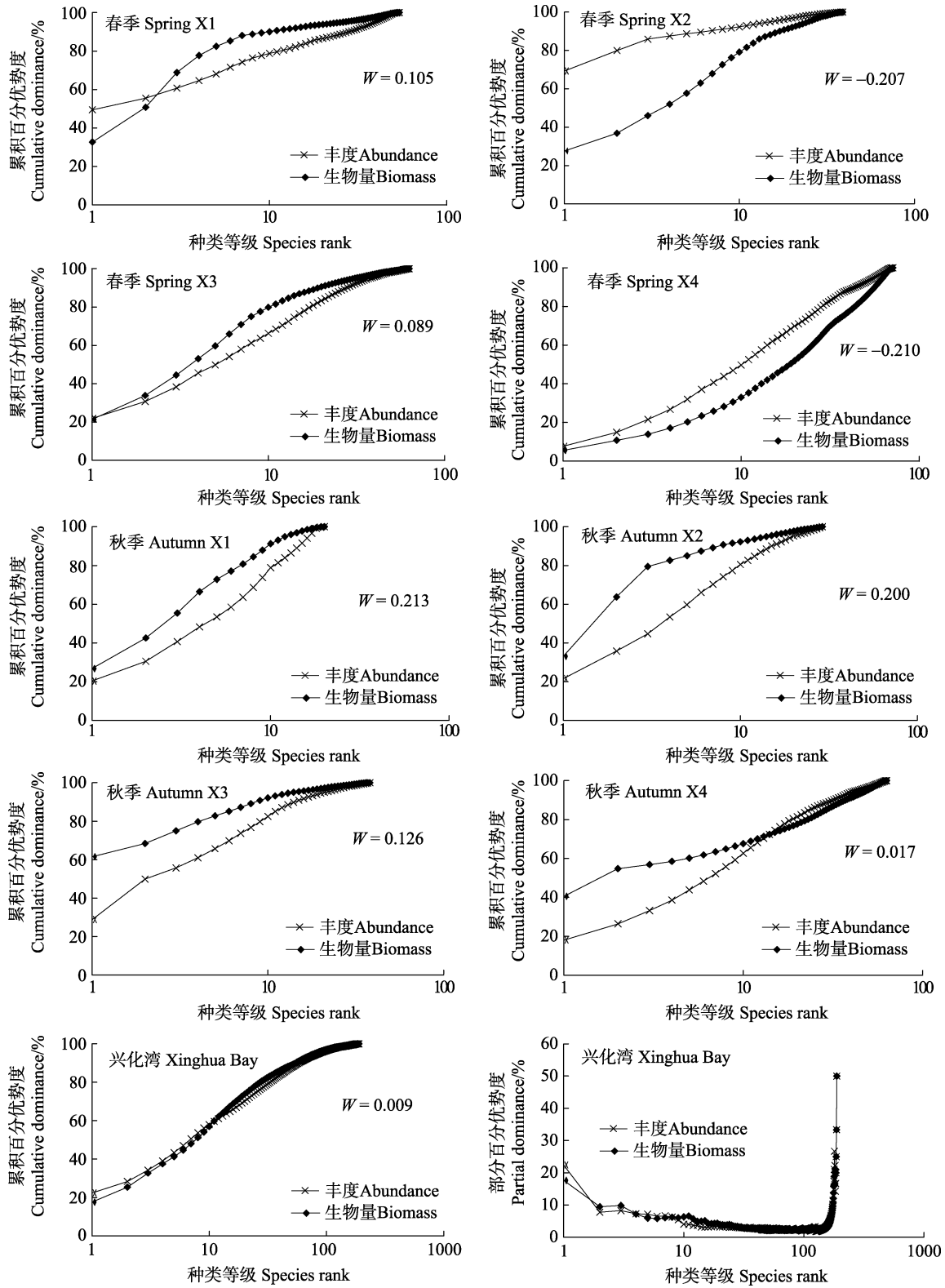


图 5 兴化湾潮间带大型底栖生物群落丰度生物量复合 k -优势度和部分优势度曲线
 Fig.5 Curves of abundance biomass comparison and partial k -dominance of intertidal benthos in the Xinghua Bay

参 考 文 献

马志远, 陈彬, 俞炜炜, 等. 福建兴化湾围填海湿地景观生态

影响研究. 台湾海峡, 2009, 28(2): 169-176
 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第七分册). 北京: 海洋出版社, 1994

- 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. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(5): 93-96
- 宋师兰. 福建省滨海湿地生物多样性保护等级划分研究. 福建林业科技, 2004, 31(3): 35-39
- 李荣冠, 江锦祥. 应用丰度生物量比较法监测海洋污染对底栖生物群落的影响. 海洋学报, 1992, 14(1): 108-114
- 郑成兴, 李荣冠, 江锦祥, 等. 泉州湾岩相潮间带底栖生物生态研究 I. 物种多样性与分布特征. 生物多样性, 2004, 12(6): 594-610
- 林秀春, 蔡立哲. 湄洲湾贝类养殖滩涂大型底栖动物群落组成. 莆田学院学报, 2006, 13(5): 91-94
- 周时强, 郭丰, 吴荔生, 等. 福建海岛潮间带底栖生物群落生态的研究. 海洋学报, 2001, 23(5): 104-109
- 周细平, 蔡立哲, 傅素晶, 等. 福建同安湾潮间带红树林生境与非红树林生境大型底栖动物群落比较. 生物多样性, 2010, 18(1): 60-66
- 梁俊彦, 蔡立哲, 周细平, 等. 深沪湾沙滩潮间带大型底栖动物群落及其次级生产力. 台湾海峡, 2008, 27(4): 466-471
- 黄雅琴, 李荣冠, 王建军, 等. 湄洲湾潮间带底栖生物多样性. 生物多样性, 2010, 18(2): 161-167
- 程建新, 肖佳媚, 陈明茹, 等. 兴化湾海湾生态系统退化评价. 厦门大学学报(自然科学版), 2012, 51(5): 944-950
- Holland MM. Wetlands and environment gradients. In: Mula-moottil G, Warner BG, McBean EA. Wetlands: environment gradients, boundaries and buffers. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc, 1996, 112-131
- Keddy PA. Wetland ecology principles and conservation. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 124-238
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. Food habits of albacore, bluefintuna, and bonito in California waters. Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105

(编辑 江润林)

An Ecological Study on the Benthos in Intertidal Zone of Xinghua Bay

LIN Heshan, WANG Jianjun^①, HUANG Yaqin, LIN Junhui, HE Xuebao,
LIU Kun, ZHENG Chengxing, LI Rongguan

(Laboratory of Marine Biology and Ecology, Third Institute of Oceanography,
State Oceanic Administration, Xiamen 361005)

Abstract We investigated the diversity of benthos in the Xinghua Bay of Fujian Province in November 2005 and May 2006 to assess the biological diversity and the stability of intertidal communities. One hundred and eighty-nine species were identified and the dominant species were *Nephtys oligobranchia*, *Mediomastus* sp., *Heteromastus* sp., *Cerithideopsisilla cingulate*, and *Theora lata*. The average density and biomass were 326 ind/m² and 32.35 g/m² respectively. The density and the biomass were the highest in the bottom of the bay and the middle tidal zone, and the lowest values were obtained in the openings of the bay and the high tidal zone. Both biomass and density were higher in spring than in autumn. The results indicated that the structure of the benthic community in the Xinghua Bay had been disturbed and in an endangered status.

Key words Xinghua Bay; Intertidal benthos; Species diversity; Community structure

① Corresponding author: WANG Jianjun, E-mail: wjj5358@sina.com