

# 广东湛江红树林保护区大型底栖动物群落的空间分带

唐以杰<sup>1,2</sup>, 余世孝<sup>1,\*</sup>

(1. 中山大学生命科学院生态学系/有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275 2. 广东教育学院生物系, 广州 510303)

**摘要** :用生态样带研究了广东湛江红树林保护区高桥镇核心区大型底栖动物的空间分带。结果表明,德耀村红树剖面中出现的大型底栖动物优势种类为琵琶拟沼螺、悦目大眼蟹、扁平拟闭口蟹、宽身闭口蟹、黑口滨螺、等齿角沙蚕、弧边招潮和中华伪露齿螺。该剖面大型底栖动物从高潮位到低潮位可分为 3 个分布带:琵琶拟沼螺-弧边招潮-浓毛拟闭口蟹带,宽身闭口蟹-悦目大眼蟹-黑口滨螺带,扁平拟闭口蟹-珠带拟蟹手螺带。群落生物量的变化主要由软体动物所主导,栖息密度的变化主要由软体动物和甲壳动物所主导,多样性指数变化主要由软体动物所主导。红寨村红树剖面中出现的大型底栖动物优势种类为琵琶拟沼螺、螻蛄虾、扁平拟闭口蟹、宽身闭口蟹、耳螺科的一种、黑口滨螺、中华伪露齿螺、哈氏仿对虾、弧边招潮和等齿角沙蚕。该剖面大型底栖动物也可分为 4 个分布带:黑口滨螺-中华伪露齿螺-等齿角沙蚕带,琵琶拟沼螺-宽身闭口蟹-耳螺科的一种带,螻蛄虾-扁平拟闭口蟹带,沈氏长方蟹-珠带拟蟹守螺带。群落生物量的变化也主要由软体动物所主导,栖息密度的变化主要由甲壳动物所主导,多样性指数变化主要由软体动物所主导。底栖动物群落的等级聚类和非参数多变量标序显示,大型底栖动物分带与红树植物群落类型相一致。大型底栖动物分带受红树植物群落类型影响的主要原因是不同红树植物群落间的群落特征、沉积物性质和所处潮位线存在差异。

**关键词** 红树林;大型底栖动物;空间分带

文章编号:1000-0933(2007)05-1703-12 中图分类号:Q178.531 文献标识码:A

## Spatial zonation of macrofauna in the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve, Guangdong

TANG Yi-Jie<sup>1,2</sup>, YU Shi-Xiao<sup>1,\*</sup>

1 Department of Ecology/ State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 512075, China

2 Department of Biology, Guangdong Education Institute, Guangzhou 510303, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1703 ~ 1714.

**Abstract** :The spatial zonation of macrofauna in the core region of Zhanjiang Mangrove Nature Reserve (located along coastal areas of the Leizhou Peninsula, Guangdong, China) was studied with two transects vertical to the shoreline. The first transect was near Deyao village where *Assiminea lutea*, *Macrophthalmus erato*, *Paracleistostoma depressum*, *Cleistostoma dilatatum*, *Littoraria melanostoma*, *Ceratonereis burmensis*, *Uca arcuata*, and *Pseudoringicula sinensis* were found to be dominant species of the macrofauna. Along this transect, three faunal zones of the mangrove swamp could be divided from the high to low tide part: The *Assiminea lutea* *Uca arcuata* *Paracleistostoma crassipilum* zone, the *Cleistostoma dilatatum* *Macrophthalmus erato* *Littoraria melanostoma* zone, and the *Paracleistostoma depressum* *Cerithidae cingulata* zone. Molluscs

基金项目:中山大学张宏达科学研究基金资助项目;广东教育学院中青年骨干教师研究基金资助项目

收稿日期:2005-12-12;修订日期:2007-01-16

作者简介:唐以杰(1972~)男,广东人,博士生,从事生态学研究。E-mail:tyj@gdei.edu.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:lssysx@mail.sysu.edu.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by the Zhang Hongda Science Research Fund of Sun Yet-Sen University; The medium youth framework teacher's research fund of Guangdong Education Institute

**Received date** 2005-12-12; **Accepted date** 2007-01-16

**Biography** :TANG Yi-Jie, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology. E-mail:tyj@gdei.edu.cn

and crustacean exhibited highest individual density in this transect. Molluscs also mainly influenced the dynamics of community biomass, as well as the species diversity index. In the second transect near Hongzhai village, the dominant species of the macrofauna species included *Assiminea lutea*, *Upogebia* sp., *Paracleistostoma depressum*, *Cleistostoma dilatatum*, a species belonging to the family *Ellobiidae*, *Littoraria melanostoma*, *Pseudoringicula sinensis*, *Parapenaeopsis hardwickii*, *Uca arcuata*, and *Ceratonereis burmensis*. Four faunal zones could be determined in this section: The *Littoraria melanostoma Pseudoringicula sinensis Ceratonereis burmensis* zone, the *Assiminea lutea Cleistostoma dilatatum* zone with a dominant species belonging to the *Ellobiidae*, the *Upogebia* sp. *Paracleistostoma depressum* zone, and the *Metaplex sheni Cerithidae cingulata* zone. The crustacean showed highest individual density in this transect. Similar to the Deyao transect, dynamics of community biomass and the species diversity index of the Hongzhai transect were mainly influenced by molluscs. By hierarchical clustering and non-metric multi-dimensional scaling, the macrofauna communities could be divided into 3 and 4 groups in the Deyao and Hongzhai transect, respectively. These groups corresponded to the different vegetation types of the mangrove swamp. Taken together, our observations indicate that the spatial zonation of the macrofauna was mainly affected by characteristics of the mangrove community, sediment characteristics and the tidal line.

**Key words:** mangrove; macrofauna; spatial zonation

国外红树林分布区,如澳大利亚、马来西亚、智利和印度等,大型底栖动物的垂直分带特征已有较多报道<sup>[1-6]</sup>,这些研究有助于更全面地理解红树林内底栖动物的生态分布规律及其与红树林系统的密切关系。在我国亚热带地区这方面的研究则罕有报道<sup>[7]</sup>。而且有关红树林区内大型底栖动物群落的调查,研究者注重的是高、中、低3个潮区站点的布设,而往往忽略了林区中红树植物群落的差异。实际上,同一林区的不同剖面,如果红树植物群落不同,其林下土壤化学性状会有较大的差别<sup>[8,9]</sup>,这是否会导致底栖动物的空间分带有较大的差别?这方面尚未见报道。

湛江红树林国家级自然保护区是我国21个国际重要湿地之一。其红树林植物群落的空间分布已见报道<sup>[10]</sup>,但林下大型底栖动物的空间分带状况尚未作研究。本文选取湛江红树林自然保护区高桥镇核心区德耀、红寨村两个红树植物群落差别较大的剖面,比较两个剖面大型底栖动物群落的空间分带特征、生物量、栖息密度和多样性的垂直变化情况,探讨大型底栖动物群落的空间分带与红树植物群落、环境因子的关系,以便为红树林区湿地生态系统及其资源的保护、开发、利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样方法及样品处理

分别于2005年1、4、7、10月,在广东湛江红树林保护区高桥镇核心区的德耀、红寨村各设立一个与海岸线垂直的红树林剖面,分别在距离海岸35、65、95、125、155、185、215、275、305、335 m和405 m(标记为A1~A11)、70、90、100、130、160、190、220、250、280、310、340、420 m和470 m(标记为B1~B13)的地方布设站点,大型底栖动物的调查采用25 cm × 25 cm的定量样框,每个站点取4个样框,先捡出框内底表动物,再挖至30 cm深的底泥,用0.5 mm孔径筛子分选出底内动物,所获样品用5%的甲醛溶液现场固定,于实验室内分析鉴定。室内样品称重、计算和资料分析整理均按海洋调查规范海洋生物调查(GB 12763.6-91)。在进行大型底栖动物调查的同时,每个站点布设一个10 m × 5 m的样方,对样方内所有植物进行全面调查,测定每棵树的树高、树冠幅(南北 × 东西)、枝下高、胸径,并计算出各样方红树植物的平均树高、平均树冠(NS × EW)、平均枝下高、基盖度及平均密度;同时,每个样方按对角线随机选5个样点,挖取0~30 cm层的土,均匀混合,取1 kg左右的混合土壤作为测试样品。土壤粒径组成、盐分和有机质含量分别用比重计法、重量法和重铬酸钾法测定,pH值用电位法,每个样品3次重复。

### 1.2 数据分析

底栖动物物种优势度( $Y$ )和多样性指数( $H'$ )分别采用以下计算公式:

$$Y = \frac{N_i}{N} \hat{f}_i$$

$$H' = \sum_{i=1}^S (p_i) (\ln p_i)$$

式中,  $S$  为样品中的种数;  $p_i$  为第  $i$  种的个体数与样品总个体数的比值;  $N_i$  为第  $i$  种的个体数;  $f_i$  是该种在各站位中出现的频率;  $N$  为每个种出现的总个体数。

大型底栖动物群落原始丰度数据经四次方根转化及标准化后, 在 Bray-Curtis 相似性测量的基础上, 进行等级聚类分析 (Cluster) (组平均连接法) 和非参数多变量标序 (NMMDS)。

采用 SPSS12.0 软件包来进行各种相关关系和差异显著性分析。

## 2 结果

### 2.1 红树植物群落和沉积物性质

表 1、表 2 为红树植物群落和沉积物特征。随着潮位线的下降, 德耀红树剖面植物群落类型可分为 3 种: 桐花树 (A1)、桐花树 + 红海榄 (A2 ~ A7)、桐花树 + 白骨壤 (A8 ~ A10)。方差分析表明 (One-way ANOVA), 群落之间树高、基盖度和枝下高差异极显著 ( $p < 0.01$ ), 树冠幅 (EW) 和平均密度差异显著 ( $p < 0.05$ )。群落间沉积物有机质、粉粒含量也差异显著 ( $p < 0.05$ )。红寨红树剖面植物群落类型可分为 4 种: 桐花树 (B1、B2、B11 和 B12)、桐花树 + 木榄 (B3、B6 ~ B10)、秋茄树 + 木榄 (B4、B5)、桐花树 + 白骨壤 (B13)。方差分析表明, 各红树群落特征差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 而群落之间沉积物 pH、粉粒含量差异显著 ( $p < 0.05$ )。

表 1 各站点的红树植物群落特征

Table 1 Mangrove community characteristics in each sampling plot

站点 Sampling plot	群落类型 Community type	树高 Tree height (m)	树冠幅 (NS) Tree crown North × South (m)	树冠幅 (WE) Tree crown West × East (m)	基盖度 Base cover (%)	枝下高 Stem height under branch (m)	平均密度 Average density (Tree/m <sup>2</sup> )
A1	桐花树 <i>Acgiceras corniculatum</i>	2.40	1.45	1.32	1.00	1.31	1.10
A2	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>Rhizophora stylosa</i>	2.55	1.86	1.83	1.06	1.34	0.52
A3	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>R. stylosa</i>	2.54	1.69	1.60	0.86	1.57	0.72
A4	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>R. stylosa</i>	2.11	1.43	1.44	0.79	1.29	0.86
A5	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>R. stylosa</i>	2.35	1.61	1.35	1.09	1.25	0.82
A6	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>R. stylosa</i>	2.03	1.15	1.31	0.76	1.14	0.56
A7	桐花树 + 红海榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>R. stylosa</i>	2.06	1.89	1.79	0.71	0.64	0.46
A8	桐花树 + 白骨壤 <i>A. corniculatum</i> + <i>Avicennia marina</i>	1.62	1.04	1.01	0.34	0.49	1.10
A9	桐花树 + 白骨壤 <i>A. corniculatum</i> + <i>A. marina</i>	1.14	1.19	1.12	0.15	0.22	0.66
A10	桐花树 + 白骨壤 <i>A. corniculatum</i> + <i>A. marina</i>	1.57	1.11	1.03	0.55	0.48	1.10
A11	桐花树 + 白骨壤 <i>A. corniculatum</i> + <i>A. marina</i>	1.83	1.32	1.31	0.36	0.53	1.32
B1	桐花树 <i>A. corniculatum</i>	4.83	3.59	5.02	0.33	0.56	0.12
B2	桐花树 <i>A. corniculatum</i>	0.76	0.43	0.46	0.05	0.20	1.06

续表 1

站点 Sampling plot	群落类型 Community type	树高 Tree height (m)	树冠幅 (NS) Tree crown North × South (m)	树冠幅 (WE) Tree crown West × East (m)	基盖度 Base cover (%)	枝下高 Stem height under branch (m)	平均密度 Average density (Tree/m <sup>2</sup> )
B3	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	1.30	0.57	0.52	0.30	0.47	1.94
B4	秋茄树 + 木榄 <i>Kandelia candel</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.40	1.75	1.75	0.44	0.43	0.62
B5	秋茄树 + 木榄 <i>K. candel</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	3.05	2.00	2.02	0.58	1.12	0.56
B6	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.92	1.80	1.84	0.44	1.33	0.64
B7	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.81	2.01	1.85	0.68	0.68	0.56
B8	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.63	2.18	2.10	1.02	0.93	0.46
B9	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.53	2.03	1.96	0.63	1.38	0.44
B10	桐花树 + 木榄 <i>A. corniculatum</i> + <i>B. gymnorrhiza</i>	2.55	1.42	1.43	0.51	1.14	0.82
B11	桐花树 <i>A. corniculatum</i>	1.57	1.16	1.07	0.41	0.36	0.82
B12	桐花树 <i>A. corniculatum</i>	0.61	0.52	0.52	0.02	0.19	1.58
B13	桐花树 + 白骨壤 <i>A. corniculatum</i> + <i>A. marina</i>	0.61	0.70	0.72	0.03	0.25	1.38

表 2 各站点的沉积物特征

Table 2 Sediment characteristics in each sampling plot

站点 Sampling plot	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	盐分 Salt (g/kg)	砂粒 Sand (%)	粉粒 Slit (%)	粘粒 Clay (%)
A1	6.6	27.3	16.0	49.6	49.6	0.8
A2	6.6	36.5	18.9	46.6	50.8	2.6
A3	6.5	45.7	21.9	43.6	52.0	4.4
A4	6.5	43.3	21.6	50.1	47.7	2.2
A5	6.4	40.9	21.3	56.6	43.4	0.0
A6	6.5	39.7	21.1	54.7	42.4	2.9
A7	6.5	38.4	20.8	52.8	41.3	5.9
A8	6.9	30.3	21.6	49.0	39.2	11.8
A9	6.3	33.8	21.5	57.8	36.3	5.9
A10	5.6	37.3	21.4	66.6	33.4	0.0
A11	6.5	15.6	13.6	65.4	22.4	12.2
B1	6.4	8.9	5.5	86.6	12.6	0.8
B2	6.4	28.0	11.8	68.6	25.4	6.0
B3	6.4	47.0	17.8	50.6	38.2	11.2
B4	6.3	46.7	18.2	53.9	36.7	9.4
B5	6.2	46.2	18.5	57.3	35.1	7.6
B6	6.1	46.2	19.1	60.6	33.6	5.8
B7	6.1	54.9	21.3	56.6	38.9	4.5
B8	6.1	72.4	24.2	52.6	43.8	3.6
B9	6.1	89.7	26.9	48.6	48.2	3.2
B10	6.2	71.9	23.7	48.1	40.9	11.0
B11	6.3	53.9	20.4	47.6	33.6	18.8
B12	6.6	40.8	18.7	59.3	27.2	13.5
B13	6.8	27.6	16.8	71.0	20.8	8.2

## 2.2 大型底栖动物群落的种类组成

德耀村红树林剖面共有大型底栖动物 60 种, 隶属于 5 门 6 纲 30 科 (见表 3)。优势种类 ( $Y > 0.01$ ) 为琵

表 3 调查发现的大型底栖动物

Table 3 The macrofauna species been found in the investigation

门 Phylum	纲 Class	科 Family	种 Specie	
环节动物门 Annelida	多毛纲 Polychaeta	沙蚕科 Nereidae	<sup>DH</sup> 等齿角沙蚕 <i>Ceratonereis burmensis</i> , <sup>D</sup> 软疣沙蚕 <i>Tylonereis bogoyawleskyi</i> , <sup>D</sup> 独齿围沙蚕 <i>Perinereis cultrifera</i>	
		吻沙蚕科 Glyceridae	<sup>DH</sup> 长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	
		索沙蚕科 Lumbrineridae	<sup>DH</sup> 异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>	
		海蛹科 Opheliidae	<sup>DH</sup> 臭海蛹 <i>Traoisia</i> sp.	
		竹节虫科 Maldanidae	<sup>DH</sup> 缩头节节虫 <i>Maldane sarsi</i>	
		星虫门 Sipuncula	革囊星虫纲 Phascolosomatidae	革囊星虫科 Phascolosomatidae
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	露齿螺科 Ringiculidae	<sup>DH</sup> 中华伪露齿螺 <i>Pseudoringicula sinensis</i>	
		蛳螺科 Neritidae	<sup>D</sup> 紫游螺 <i>Neritina violacea</i>	
		滨螺科 Littorinidae	<sup>DH</sup> 黑口滨螺 <i>Littoraria melanostoma</i> , <sup>D</sup> 粗糙滨螺 <i>L. scaber</i>	
		拟沼螺科 Assimineidae	<sup>DH</sup> 琵琶拟沼螺 <i>Assiminea lutea</i>	
		汇螺科 Potamididae	<sup>DH</sup> 珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidae cingulata</i> , <sup>DH</sup> 彩拟蟹守螺 <i>C. ornata</i>	
		蟹守螺科 Cerithiidae	<sup>H</sup> 中华蟹守螺 <i>Cerithum sinense</i>	
		织纹螺科 Nassariidae	<sup>D</sup> 节织纹螺 <i>Nassarius hepaticus</i> , <sup>D</sup> 西格织纹螺 <i>N. siquijorensis</i>	
		耳螺科 Ellobiidae	<sup>DH</sup> 米氏耳螺 <i>Ellobium aurismidae</i> , <sup>DH</sup> 耳螺科的一种 a Species of <i>Ellobiidae</i>	
		双壳纲 Bivalvia	蚶科 Arcidae	<sup>D</sup> 褐蚶 <i>Didimacar tenebrica</i>
			贻贝科 Mytilidae	<sup>D</sup> 菲律宾偏顶蛤 <i>Modiolus philippinarum</i> , <sup>H</sup> 隆起隔贻贝 <i>Septifer excisus</i>
			牡蛎科 Ostreacea	<sup>D</sup> 咬齿牡蛎 <i>Ostrea mordax</i>
			樱蛤科 Tellinidae	<sup>D</sup> 彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>
			蜆科 Corbiculidae	<sup>DH</sup> 红树蜆 <i>Polymesoda erosa</i>
			帘蛤科 Veneridae	<sup>DH</sup> 伊萨伯雪蛤 <i>Clausinella isabellina</i> , <sup>DH</sup> 文蛤 <i>Meretrix meretrix</i>
			绿螂科 Glauconomidae	<sup>H</sup> 弓绿螂 <i>Glauconome cerea</i> , <sup>DH</sup> 绿螂 <i>G.</i> sp.
鸭嘴蛤科 Laternulidae	<sup>D</sup> 截形鸭嘴蛤 <i>Laternula truncata</i>			
节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea		对虾科 Penaeidae	<sup>DH</sup> 近缘新对虾 <i>Metapenaeus affinis</i> , <sup>DH</sup> 哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>
		樱虾科 Sergestidae	<sup>D</sup> 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	
		长臂虾科 Palaemonidae	<sup>DH</sup> 日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i> , <sup>D</sup> 细螯沼虾 <i>M. gracilirostre</i>	
		鼓虾科 Alpheoidea	<sup>D</sup> 角鼓虾 <i>Arhanas</i> sp.	
		螯蛄虾科 Upogebidae	<sup>H</sup> 螯蛄虾 <i>Upogebia</i> sp.	
		关公蟹科 Dorippidae	<sup>D</sup> 聪明关公蟹 <i>Dorippe astuta</i>	
		和尚蟹科 Mictyridae	<sup>H</sup> 长腕和尚蟹 <i>Mictyris longicarpus</i>	
		长脚蟹科 Goneplacidae	<sup>DH</sup> 麦克长眼柄蟹 <i>Ommatocarcinus macgillivrayi</i>	
		沙蟹科 Ocypodidae	<sup>DH</sup> 弧边招潮 <i>Uca arcuata</i> , <sup>D</sup> 北方凹指招潮 <i>U. vocans borealis</i> , <sup>DH</sup> 三角招潮 <i>U. triangularis triangularis</i> , <sup>DH</sup> 隆背大眼蟹 <i>Macrophthalmus convexus</i> , <sup>DH</sup> 悦目大眼蟹 <i>M. erato</i> , <sup>D</sup> 明秀大眼蟹 <i>M. definitus</i> , <sup>DH</sup> 拉氏大眼蟹 <i>M. latreillei</i> , <sup>D</sup> 毛掌大眼蟹 <i>M. boscii</i> , <sup>D</sup> 宽身大眼蟹 <i>M. dilatatum</i> , <sup>DH</sup> 宽身闭口蟹 <i>Cleistostoma dilatatum</i> , <sup>DH</sup> 扁平拟闭口蟹 <i>Paracleistostoma depressum</i> , <sup>DH</sup> 浓毛拟闭口蟹 <i>P. crassipilum</i> , <sup>D</sup> 隆线拟闭口蟹 <i>P. cristatum</i> , <sup>DH</sup> 锯眼泥蟹 <i>Ilyoplax serrata</i> , <sup>H</sup> 锯脚泥蟹 <i>I. Dentimerosa</i> , <sup>H</sup> 淡水泥蟹 <i>I. tansuiensis</i>	

续表 3

门 Phylum	纲 Class	科 Family	种 Specie
		方蟹科 Grapsidae	<sup>D</sup> 刺指小相手蟹 <i>Nanosarma pontianacensis</i> , <sup>DH</sup> 双齿相手蟹 <i>Sesarma bidens</i> , <sup>D</sup> 中华相手蟹 <i>S. sinensis</i> , <sup>DH</sup> 褶痕相手蟹 <i>S. plicata</i> , <sup>D</sup> 密栉新相手蟹 <i>Neopisesarma mederi</i> , <sup>DH</sup> 缺刻圆方蟹 <i>Cyclograpsus incisus</i> , <sup>DH</sup> 沈氏厚蟹 <i>Helice sheni</i> , <sup>H</sup> 短螯厚蟹 <i>H. leachii</i> , <sup>DH</sup> 长足长方蟹 <i>Metaplex longipes</i> , <sup>H</sup> 沈氏长方蟹 <i>M. sheni</i> , <sup>D</sup> 中华盾牌蟹 <i>Percnon sinense</i>
脊索动物门 Chordata	硬骨鱼纲 Osteichthyes	弹涂鱼科 Periphalmlidae	<sup>DH</sup> 弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i> , <sup>H</sup> 大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i>

D :发现于德耀村剖面 Found in mangrove swamp transect near Deyao village ;H :发现于红寨村剖面 Found in mangrove swamp transect near Hongzhai village ;DH :发现于德耀村和红寨村剖面 Found in mangrove swamp transects near Deyao village and Hongzhai village

琵琶拟沼螺、悦目大眼蟹、扁平拟闭口蟹、宽身闭口蟹、黑口滨螺、等齿角沙蚕、弧边招潮和中华伪露齿螺。动物种类在不同高程的潮间带内分带是明显的。距离海岸 0 ~ 35 m 的主要种类是琵琶拟沼螺、弧边招潮、浓毛拟闭口蟹, 35 ~ 215 m 主要分布有悦目大眼蟹、黑口滨螺、宽身闭口蟹, 215 ~ 405 m 主要分布有扁平拟闭口蟹、珠带拟蟹手螺。有些种类如琵琶拟沼螺、黑口滨螺则为全剖面分布。

红寨村红树林剖面共有大型底栖动物 47 种, 隶属于 5 门 6 纲 24 科 (见表 3)。优势种类 ( $Y > 0.01$ ) 为琵琶拟沼螺、蛄蛄虾、扁平拟闭口蟹、宽身闭口蟹、耳螺科的一种、黑口滨螺、中华伪露齿螺、哈氏仿对虾、弧边招潮和等齿角沙蚕。动物种类在不同高程的潮间带内分带是明显的。距离海岸 0 ~ 90 m, 340 ~ 420 m 的主要种类是黑口滨螺、中华伪露齿螺和等齿角沙蚕; 100 ~ 160 m 分布有蛄蛄虾、扁平拟闭口蟹; 90 ~ 100 m, 160 ~ 340 m 琵琶拟沼螺、宽身闭口蟹、耳螺科的一种, 420 ~ 470 m 主要分布有珠带拟蟹守螺、沈氏长方蟹。有些种类如琵琶拟沼螺、黑口滨螺为全剖面分布。

### 2.3 大型底栖动物生物量和栖息密度的垂直变化

德耀村红树林剖面大型底栖动物的平均生物量最高和次高值分别出现在 405 m 和 65 m 站点, 而最低和次低值分别出现在 95 m 和 335 m 站点, 从站点 95 ~ 305 m, 生物量缓慢上升。相关分析显示总的生物量与软体动物生物量呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ ) 相关系数为 0.960。红寨村红树剖面大型底栖动物的生物量垂直变化主要由软体动物生物量所主导, 相关系数为 0.994 ( $p < 0.01$ )。其最高值出现在 100 m 样点, 次高值出现在 340 m 站点。从站点 160 ~ 310 m, 生物量在较低水平波动 (图 1)。

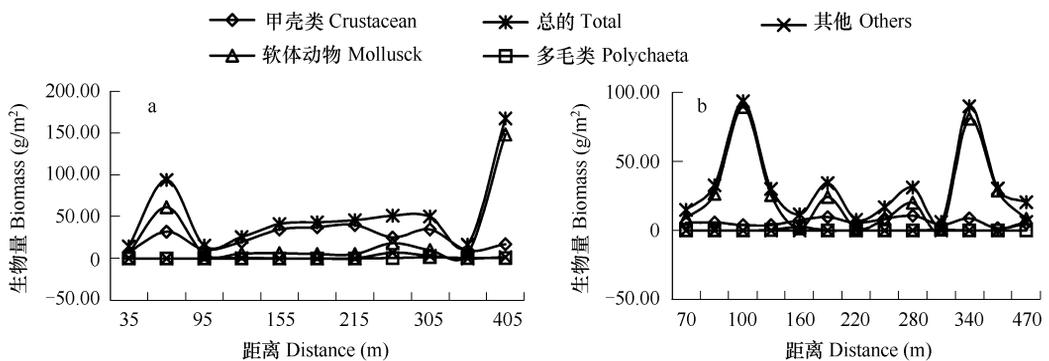


图 1 大型底栖动物生物量在两个红树林剖面的变化

Fig. 1 Dynamics of macrofauna biomass along the mangrove swamp transect  
(a) 德耀村 near Deyao village (b) 红寨村 near Hongzhai village

德耀村红树林剖面大型底栖动物栖息密度的垂直变化主要由软体动物和甲壳动物的栖息密度所主导 (图 2) 相关系数分别为 0.905 ( $p < 0.01$ ) 和 0.799 ( $p < 0.01$ )。其最高和次高值分别出现在 405 m 和 275 m 站点, 而最低值出现在 335m 站点, 从站点 35 ~ 215 m, 栖息密度先是缓慢下降, 再缓慢上升。红寨村红树林剖

面大型底栖动物的栖息密度最高值在 160 m 站点, 栖息密度沿剖面高程下降的变化主要由甲壳动物所主导, 两者相关系数为 0.967 ( $p < 0.01$ )。

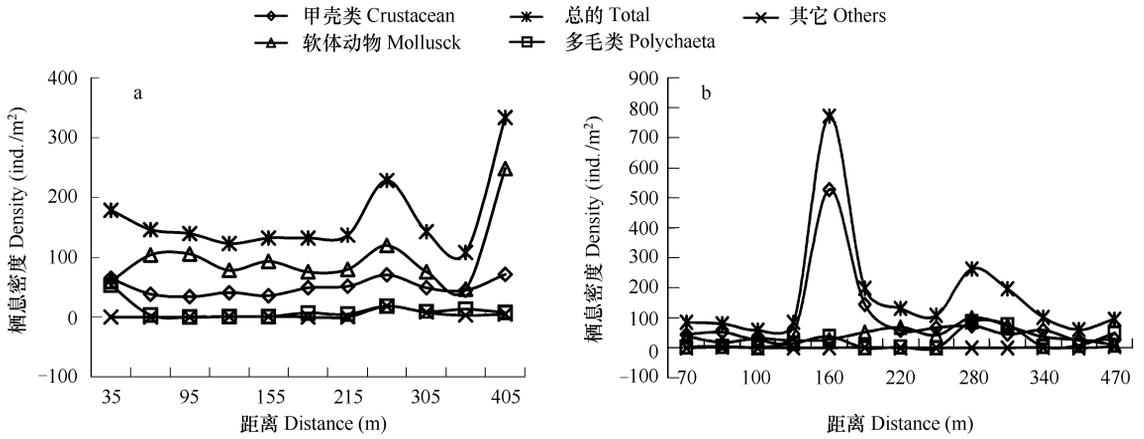


图 2 大型底栖动物栖息密度在两个红树林剖面的变化

Fig. 2 Dynamics of macrofauna density along the mangrove swamp transect

(a) 德耀村 near Deyao village (b) 红寨村 near Hongzhai village

### 2.4 大型底栖动物多样性的垂直变化

德耀村红树林剖面大型底栖动物多样性总体呈缓慢上升趋势, 最高和次高值分别出现在 335 m 和 405 m 站点, 而最低和次低值分别出现在 65 m 和 35 m 站点。相关分析显示总的生物多样性与软体动物多样性呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ ) 相关系数为 0.913。红寨村红树林剖面大型底栖动物多样性变化无明显规律, 最高和次高值分别出现在 470 m 和 420 m 站点, 而最低和次低值分别出现在 310 m 和 280 m 站点 (图 3)。相关分析显示总的生物多样性与软体动物多样性呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ ) 相关系数为 0.752。

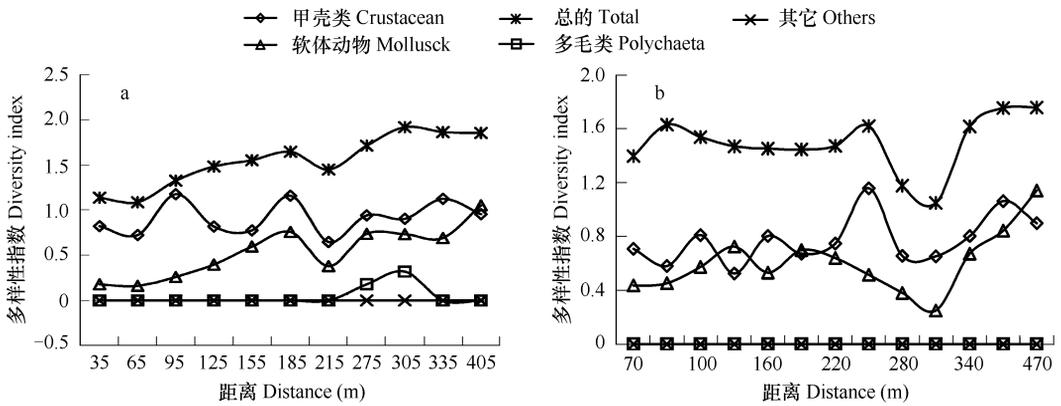


图 3 大型底栖动物多样性指数在两个红树林剖面的变化

Fig. 3 Dynamics of macrofauna diversity indexes along the mangrove swamp transect

(a) 德耀村 near Deyao village (b) 红寨村 near Hongzhai village

### 2.5 大型底栖动物群落聚类和非参数多变量标序

从图 4a 可以看出, 在 45% 的相似性水平上, 等级聚类分析把德耀村红树剖面 11 个站位动物群落分成 3 大组: A1 一组; A2、A3、A4、A5、A6 和 A7 一组; A8、A9、A10 和 A11 一组。从图 4b 可以看出, 在 48% 的相似性水平上, 等级聚类分析把红寨村红树剖面 13 个站位动物群落分成 4 大组: B13 一组; B4 和 B5 一组; B3、B6、B7、B8、B9 和 B10 一组; B1、B2、B11 和 B12 一组。从图 5 可以看出, NMMDS 排序图也支持聚类分析的结果, 而且, 更直观地显示了各个站位群落之间的距离关系即相似程度情况。

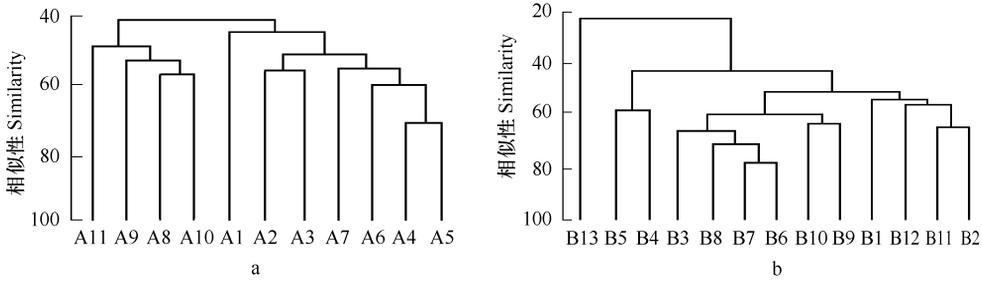


图4 两个红树林剖面各站点大型底栖动物群落系统聚类图

Fig. 4 The hierarchical cluster dendrogram of macrofauna communities at different sampling plot in mangrove swamp transect  
(a) 德耀村 near Deyao village (b) 红寨村 near Hongzhai village

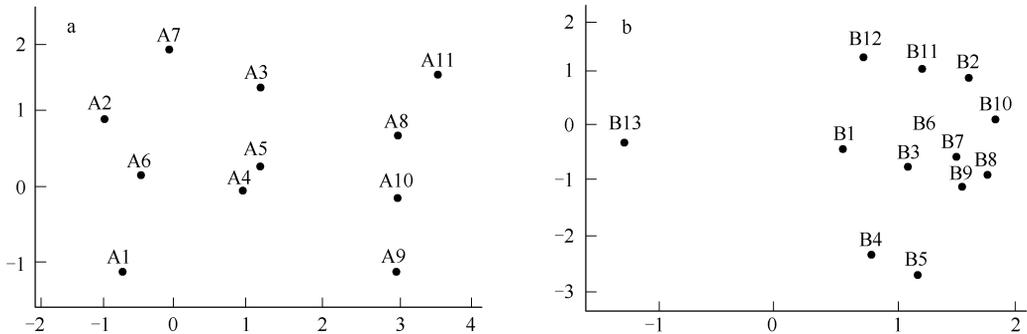


图5 两个红树林剖面各站点大型底栖动物群落的非参数多变量标序

Fig. 5 NMMDS ordination of macrofauna communities at different sampling plot in mangrove swamp transect

(a) 德耀村 (压力系数 = 0.09) near Deyao village (Stress = 0.09) (b) 红寨村 (压力系数 = 0.08) near Hongzhai village (Stress = 0.08)

## 2.6 季节变化

一年四季的调查结果, 德耀村红树剖面大型底栖动物栖息密度为: 春季 ( $222 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 冬季 ( $185 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 秋季 ( $144 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 夏季 ( $103 \text{ 个}/\text{m}^2$ ), 单因变量多因素方差分析 (2-way ANOVA) 表明, 各站点动物栖息密度季节间、红树植物群落间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 季节间和红树植物群落间不存在交互作用 ( $p > 0.05$ )。生物量为: 春季 ( $86.3 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 冬季 ( $44.1 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 秋季 ( $43.5 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 夏季 ( $31.6 \text{ g}/\text{m}^2$ ), 各站点生物量群落间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 季节间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 季节间和红树植物群落间不存在交互作用 ( $p > 0.05$ )。生物多样性指数为: 夏季 (1.7306) > 秋季 (1.6042) > 冬季 (1.4584) > 春季 (1.3932), 单因变量多因素方差分析, 各站点多样性季节间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 红树植物群落间差异极显著 ( $p < 0.01$ ), 季节间和红树植物群落间没有交互作用 ( $p > 0.05$ )。

红寨村红树林剖面栖息密度为: 春季 ( $220 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 冬季 ( $201 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 秋季 ( $168 \text{ 个}/\text{m}^2$ ) > 夏季 ( $102 \text{ 个}/\text{m}^2$ ), 单因变量多因素方差分析, 各站点栖息密度季节间、红树植物群落间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 季节间和红树植物群落间不存在交互作用 ( $p > 0.05$ )。生物量为: 秋季 ( $50.8 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 夏季 ( $33.4 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 春季 ( $23.9 \text{ g}/\text{m}^2$ ) > 冬季 ( $21.4 \text{ g}/\text{m}^2$ ), 各站点生物量季节间、红树植物群落间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 季节间和红树植物群落间不存在交互作用 ( $p > 0.05$ )。多样性为: 春季 (1.5542) > 秋季 (1.5535) > 冬季 (1.5437) > 夏季 (1.3112), 单因变量多因素方差分析, 各站点多样性季节间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 红树植物群落间差异极显著 ( $p < 0.01$ ), 季节间和红树植物群落间交互作用极显著 ( $p < 0.01$ )。

## 2.7 大型底栖动物同红树植物群落、环境因子的关系

两个红树剖面大型底栖动物群落生物量、栖息密度和多样性同红树植物群落各特征值的相关性见表4, 同环境因子的相关性见表5。

表 4 大型底栖动物生物量、栖息密度和多样性同红树植物群落特征的相关性

Table 4 The correlation between the mean biomass, density and diversity indexes of macrofauna with mangrove community characteristics

项目 Item	树高 Tree height	树冠幅 (NS) Tree crown North × South	树冠幅 (WE) Tree crown West × East	基盖度 Base cover	枝下高 Stem height under branch	平均密度 Average density
D 甲壳类生物量 Biomass of crustacean	NS	NS	NS	NS	NS	-0.685 *
H 甲壳类生物量 Biomass of crustacean	NS	NS	NS	NS	0.627 *	-0.555 *
D 多毛类生物量 Biomass of polychaeta	-0.878 **	NS	NS	-0.893 **	-0.851 **	NS
D 其他动物生物量 Biomass of others	-0.606 *	NS	NS	-0.687 *	NS	NS
D 甲壳类栖息密度 Density of crustacean	NS	NS	NS	NS	NS	0.613 *
H 软体动物栖息密度 Density of mollusk	NS	NS	NS	0.562 *	0.735 **	NS
D 其他动物栖息密度 Density of others	-0.636 *	-0.615 *	-0.644 *	-0.702 *	-0.624 *	NS
H 其他动物栖息密度 Density of others	NS	NS	NS	-0.580 *	NS	NS
D 总栖息密度 Total density	NS	NS	NS	NS	NS	0.640 *
H 总栖息密度 Total density	NS	NS	NS	NS	0.554 *	NS
D 多毛类多样性 diversity indexes of polychaeta	-0.750 **	NS	NS	-0.722 *	-0.628 *	NS
D 软体动物多样性 diversity indexes of mollusk	-0.703 **	-0.697 *	-0.653 *	-0.722 *	-0.690 *	NS
D 总多样性 Total diversity indexes	-0.878 **	-0.730 *	-0.727 *	-0.833 **	-0.806 **	NS
H 总多样性 Total diversity indexes	-0.575 *	NS	NS	NS	-0.734 **	NS

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; NS:  $p > 0.05$ ; D 德耀村 Deyao village; H 红寨村 Hongzhai village; 下同 the same below

### 3 讨论

德耀红树剖面大型底栖动物群落从高潮位到低潮位的分带现象是比较明显地,这与其他学者的报道<sup>[1,2]</sup>相一致。根据调查结果,按各自优势种类和限制因素的特点,基本可分为 3 个动物群落分布带:(1)琵琶拟沼螺-弧边招潮-浓毛拟闭口蟹带。该带距离海岸 0~35 m,红树植物群落类型为桐花树群落,平均树高为 2.40 m,基盖度为 1.00%,底质为粉砂壤土,粉粒为 49.6%,有机质平均含量为 27.3 g/kg,动物主要种类为琵琶拟沼螺、弧边招潮、浓毛拟闭口蟹。(2)宽身闭口蟹-悦目大眼蟹-黑口滨螺带。该带距离海岸 35~215 m,红树植物群落类型为桐花树+红海榄群落,平均树高为 2.27 m,基盖度为 0.88%,底质为粉砂壤土或砂壤土,粉粒为 46.3%,有机质平均含量为 40.8 g/kg,动物主要种类为宽身闭口蟹、悦目大眼蟹、黑口滨螺。(3)扁平拟闭口蟹-珠带拟蟹手螺带。距离海岸 215~405 m,红树植物群落类型为桐花树+白骨壤群落,平均树高为 1.54 m,基盖度为 0.35%,底质为砂壤土或壤质砂土,粉粒为 32.8%,有机质平均含量为 29.3 g/kg,主要分布有扁平拟闭口蟹、珠带拟蟹手螺。红寨村大型底栖动物群落分带没有德耀村明显,但基本也可分为 4 个动物群落分布带:(1)距离海岸 0~90 m 和 340~420 m,为黑口滨螺-中华伪露齿螺-等齿角沙蚕带,红树植物群落类型

为桐花树群落,平均树高为 1.94 m,基盖度为 0.2%,底质为壤质砂土或砂壤土,粉粒为 24.7%,pH 为 6.4,主要种类为黑口滨螺、中华伪露齿螺和等齿角沙蚕。(2)距离海岸 90~100 m、160~340 m,为琵琶拟沼螺-宽身闭口蟹-耳螺科的一种带红树植物群落类型桐花树+木榄群落,平均树高为 2.46 m,基盖度为 0.60%,底质为粘壤土或粉砂壤土,粉粒为 40.6%,pH 为 6.1,主要种类则是琵琶拟沼螺、宽身闭口蟹、耳螺科的一种。(3)100~160 m,为蛄蛄虾-扁平拟闭口蟹带红树植物群落类型为秋茄树+木榄群落,平均树高为 2.54 m,基盖度为 0.57%,底质为砂壤土,粉粒为 35.9%,pH 为 6.3,主要种类则是蛄蛄虾、扁平拟闭口蟹。(4)420~470 m,沈氏长方蟹-珠带拟蟹守螺带红树植物群落类型桐花树+白骨壤群落,平均树高为 0.61 m,基盖度为 0.03%,底质为壤质砂土,粉粒为 20.8%,pH 为 6.8,主要种类则是沈氏长方蟹、珠带拟蟹守螺。

表 5 型底栖动物生物量、平均栖息密度同环境因子的相关性

Table 5 The correlation between the mean biomass, density and diversity indexes of macrofauna with environment factors

项目 Item	距离 Distance	有机质 Organic matter	盐分 Salt	砂粒 Sand	粉粒 Slit	粘粒 Clay	pH
H 甲壳动物生物量 Biomass of crustacean	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0.562 *
D 多毛类生物量 Biomass of polychaeta	0.696 *	NS	NS	NS	-0.628 *	NS	NS
D 软体动物生物量 Biomass of mollusk	NS	-0.760 **	-0.787 **	NS	NS	NS	NS
H 软体动物生物量 Biomass of mollusk	NS	NS	NS	NS	NS	0.636 *	NS
D 其他动物生物量 Biomass of others	NS	NS	NS	NS	NS	0.710 *	NS
H 其他动物生物量 Biomass of others	0.554 *	NS	NS	NS	NS	NS	0.723 **
D 总生物量 Total biomass	NS	-0.712 *	-0.679 *	NS	-0.611 *	0.638 *	NS
H 总生物量 Total biomass	NS	NS	NS	NS	NS	0.621 *	NS
D 甲壳动物栖息密度 Density of crustacean	NS	-0.866 **	-0.611 *	NS	NS	0.697 *	NS
D 软体动物栖息密度 Density of mollusk	NS	-0.679 *	-0.645 *	NS	NS	0.751 **	NS
H 软体动物栖息密度 Density of mollusk	NS	0.736 **	0.595 *	NS	0.627 *	NS	-0.704 **
D 其他动物栖息密度 Density of others	NS	NS	NS	NS	NS	0.690 *	NS
H 其他动物栖息密度 Density of others	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.662 *
D 总栖息密度 Total density	NS	-0.886 **	-0.759 **	NS	-0.607 *	0.805 **	NS
D 软体动物多样性 diversity indexes of mollusk	0.894 **	NS	NS	0.762 **	-0.898 **	NS	NS
D 总多样性 Total diversity indexes	0.920 **	NS	NS	0.768 **	-0.840 **	NS	NS
H 软体动物多样性 diversity indexes of mollusk	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.680 *
H 总多样性 Total diversity indexes	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.606 *

底栖动物群落的等级聚类和非参数多变量标序显示,底栖动物分带与红树植物群落类型的分布相一致(图4、图5)。即使是红寨村桐花树群落,虽分布于距离海岸0~90 m和340~420 m两处,但这两处站点的动物群落却很相似,在48%的相似水平上可聚为一组(图4b)。类似的,桐花树+木榄群落分布于距离海岸90~100 m、160~340 m两处,但这两处站点的动物群落在57%的相似水平上聚为一组(图4b)。单因变量多因素方差分析也显示,两个红树剖面各站点大型底栖动物生物多样性指数均季节间差异不显著( $p > 0.05$ ),但红树植物群落间差异极显著( $p < 0.01$ ),这说明红树植物群落类型对大型底栖动物的分带有影响。这与不同红树植物群落提供的生存环境有关。

首先,不同红树植物群落沉积物化学性质受到群落类型,尤其是群落中红树植物优势种的生长速度、残落物量及其营养元素含量的影响,而底质性质影响着大型底栖动物群落。何斌等对广西英罗港红树植物群落主要演替阶段土壤化学性质进行比较分析,结果表明随着进展演替,土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷、盐分、全硫、水溶性硫含量和交换性酸度均呈明显增长趋势,土壤有机质及富里酸(FA)和胡敏酸(HA)含量也有相同规律,土壤pH值则呈现相反的趋势<sup>[9]</sup>。由于本区实际上与广西英罗港处于同一海湾,故红树植物群落生境有一定的相似性。本研究表明,德耀村红树植物群落间沉积物的有机质、粉粒含量差异显著( $p < 0.05$ )。红寨红树植物群落间沉积物的pH、粉粒含量差异显著( $p < 0.05$ )。表4、表5表明,某些类群底栖动物的生物量、栖息密度和多样性与沉积物性质相关显著。可见不同红树植物群落类型间沉积物性质的差异影响着大型底栖动物的分带。

不同红树植物群落间群落特征的差别,也会影响大型底栖动物的分带。德耀村红树植物群落间树高、基盖度、枝下高、树冠幅(EW)和平均密度差异显著( $p < 0.01$ 或 $p < 0.05$ )。植株高度不同,导致植株地下部分生物量差异<sup>[10]</sup>。而地下部分生物量差异导致植物根圈范围、根丛结构复杂程度的差异,由此造成了表层环境的结构异质性。已知生境异质性在维持底栖动物分布和多样性方面是非常重要的<sup>[3]</sup>。这是导致各红树植物群落中的底栖动物群落结构差异的原因之一。还有,不同红树植物群落基盖度的差异,影响了林内光照水平,这对红树林中底栖动物多样性也有影响。Nobbs对澳大利亚天然红树林的研究表明,红树林植被的存在与否对蟹类的种类与分布有很大影响,主要是由于荫蔽条件的差异而导致<sup>[11]</sup>。Vannini等的研究也表明,天然红树林内光照水平对相手蟹的分布有重要影响<sup>[12]</sup>。表4、表5表明,某些类群底栖动物的生物量、栖息密度和多样性与红树群落特征相关显著。可见不同红树植物群落间群落特征的差异也会影响大型底栖动物的分带。

另外,红树植物群落往往沿着潮位线高程的下降,从岸缘到海缘形成一个生态系列<sup>[13]</sup>,不同的红树植物群落一般分布于不同的潮位线,而潮位线的不同影响着底栖动物的分布<sup>[12]</sup>。表5表明某些类群底栖动物的生物量和多样性与离岸距离相关显著。可见不同红树植物群落分布的潮位线高程差异也影响着大型底栖动物的分带。

红树林中大型底栖动物的空间分带现象是长期生态适应的结果,德耀村红树植物群落生态系列比红寨村明显(表1),因此其底栖动物分带比红寨村明显(图4、图5)。德耀和红寨村两个红树林剖面大型底栖动物的生物量均由软体动物生物量所主导,并且出现中潮区生物量最低的特殊现象(图1),这与梁超愉等的研究一致<sup>[14]</sup>,但有别于其他红树林区大型底栖动物的研究<sup>[15]</sup>,这是由于两个红树剖面高潮区和低潮区底泥有机质积累少,土壤pH值相对高,酸性不强,泥质较为疏松和易于钻洞,适宜于底内生活型种类(如文蛤),这些种类个体大,生物量高,使得高潮区和低潮区生物量明显高于中潮区,而中潮区泥滩有机碎屑含量高、淤泥深厚、土壤pH值低、透气性差并有臭气溢出,这种环境严重地限制了底内生活型种类的生存,而一些适应于这种环境的优势种类如琵琶拟沼螺的种群则得以发展,但这些种类个体小,生物量低,使得中潮区生物量下降明显。

综上所述,德耀和红寨村两个红树林剖面,虽属于同一海域,但由于红树植物群落类型不同,植物群落间群落特征、沉积物性质、分布潮位线有差异,造成底栖动物种类、生物量、栖息密度和多样性的垂直变化也有区别(图1~图3),正说明了红树植物群落类型对大型底栖动物的分带有影响。因此,红树林区底栖动物生态的研究,应该根据红树植物群落的不同,选择有代表性的剖面做调查,对于红树植物群落复杂的林区,仅做一

个剖面的调查是不够的。特别对于那些红树群落从岸缘到海缘形成一个生态系列的林带,因为底栖动物垂直空间变化较为复杂,如果调查时仅在高潮区、中潮区和低潮区各布设 1 个站点可能分析结果会不够准确,应尽可能增加调查站点,最好是沿红树剖面做连续样带调查。

#### References :

- [1] Morton B. The diurnal rhythm and the feeding responses of the southeast Asian mangrove bivalve *Geloina proxima* Prinic 1864 (Bivalvia : Corbivulacea). *Forma et Function*, 1975, (3/4) :405 - 419.
- [2] Engle V D, Summers J K. Latitudinal gradients in benthic community composition in Western Atlantic estuaries. *Journal of Biogeography*, 1999, 26 :1007 - 1023.
- [3] Wells F E, Slack-Smith S M. Zonation of molluscs in a mangrove swamp in the Kimberley, Western Australia. *Biological survey of Mitchell Plateau arid Admiralty Gulf, Kimberley, Western Australia, Perth : West Aust Museum, 1981. Part 9 :2665 - 2674.*
- [4] Sasekumar A. Distribution of macrofauna on a Malayan mangrove shore. *Journal of Animal Ecology*, 1974, (43) :51 - 69.
- [5] Quijon P, Jaramillo E. Seasonal vertical distribution of the intertidal macroinfauna in a estuary of south central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, 43 (5) :653 - 663.
- [6] Kumar R S. Vertical distribution and abundance of sediment dwelling macro-invertebrates in an estuarine mangrove biotope-southwest coast of India. *Indian Journal of Marine Science*, 1997, 26 (1) :26 - 30.
- [7] Yu R Q, Chen G Z, Huang Y S, et al. Sapatial zonation of benthic macrofauna and possible effects of sewage discharge on it in futian mangrove swamp, Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16 (3) :283 - 288.
- [8] Liao J F. Physico-chemical properties of mangrove solochak in leizhou peninsula. *Soils*, 2004, 36 (5) :561 - 564.
- [9] He B, Wen Y G, Liu S R. Soil chemical properties at succession stages of mangrove communities in Yingluo Bay of Guangxi. *Guangxi Sciences*, 2001, 8 (2) :148 - 151.
- [10] Miao S Y, Chen G Z, Chen Z T, et al. Biomasses and distributive patterns of mangrove populations in Zhanjiang Nature Reserves, Guangdong, China. *Guihaia*, 1998, 18 (1) :19 - 23.
- [11] Nobbs M. Effects of vegetation differ among three species of fiddler crabs (*Uca* spp. ). *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 2003, 284 :41 - 50.
- [12] Vannini M, Cannicci S, Ruwa K. Effect of light intensity on vertical migrations of the tree crab, *Sesarma leotosoma* Hilgendorf (Decapoda, Grapsidae). *Journal of Experimental and Marine Biology and Ecology*, 1995, 185 :181 - 189.
- [13] Ling P. Mangrove ecosystem in China. Beijing : Science Press, 1997. 69 - 74.
- [14] Liang C Y, Zhang H H, Xie X Y, et al. Study on biodiversity of mangrove benthos in Leizhou Peninsula. *Marine Science*, 2005, 29 (2) :18 - 31.
- [15] Gao A G, Chen Q Z, Zeng J N, et al. Macrofauna community in the mangrove area of Ximen Island, Zhejiang. *Journal of Marine Sciences*, 2005, 23 (2) :33 - 39.

#### 参考文献 :

- [7] 余日清, 陈桂珠, 黄玉山, 等. 深圳福田红树林区底栖大型动物群落的空间分带及灌污的可能影响. *生态学报*, 1996, 16 (3) :283 - 288.
- [8] 廖金凤. 雷州半岛红树林盐土的某些理化性质. *土壤*, 2004, 36 (5) :561 - 564.
- [9] 何斌, 温远光, 刘世荣. 广西英罗港红树植物群落演替阶段的土壤化学性质. *广西科学*, 2001, 8 (2) :148 - 151.
- [10] 缪绅裕, 陈桂珠, 陈正桃, 等. 广东湛江保护区红树林种群的生物量及其分布格局. *广西植物*, 1998, 18 (1) :19 - 23.
- [13] 林鹏著. 中国红树林生态系. 北京 : 科学出版社, 1997. 69 - 74.
- [14] 梁超愉, 张汉华, 颜晓勇, 等. 雷州半岛红树林滩涂底栖生物多样性的初步研究. *海洋科学*, 2005, 29 (2) :18 - 31.
- [15] 高爱根, 陈全震, 曾江宁, 等. 西门岛红树林区大型底栖动物的群落结构. *海洋学研究*, 2005, 23 (2) :33 - 39.