

# 廉州湾滨海湿地潮间带大型底栖动物群落次级生产力<sup>\*</sup>

何斌源<sup>1,2\*\*</sup> 赖廷和<sup>1,2</sup> 王欣<sup>1,2</sup> 潘良浩<sup>1,2</sup> 曹庆先<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>广西科学院广西红树林研究中心, 广西北海 536000; <sup>2</sup>广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

**摘要** 于2011年1月、4月、7月和10月开展广西廉州湾的裸滩、红树林和茳芏(*Cyperus malaccensis*)盐沼3种湿地生境类型的潮间带大型底栖动物群落季节动态调查,采用Brey经验公式估算各生境次级生产力。结果表明:共采集到潮间带大型底栖动物8门156种,其中裸滩生境有136种,红树林生境85种,盐沼生境29种;站位平均种数为裸滩 $9.5 \pm 4.8$ 种,红树林 $9.5 \pm 3.9$ 种,盐沼 $5.9 \pm 1.9$ 种,同时,各类群占总种数比例大小规律一致,为软体动物门>节肢动物门>环节动物门>脊索动物门>其他;盐沼生境大型底栖动物群落结构变化较小,宁波泥蟹(*Ilyoplax ningpoensis*)优势很明显,随着水体盐度上升,红树林和裸滩优势种由适应低盐环境向适应高盐环境的种类变化;廉州湾潮间带大型底栖动物群落的次级生产力平均为 $15.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,裸滩、红树林和盐沼生境分别为 $16.16$ 、 $9.97$ 、 $3.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ;P/B值平均为0.70,3种生境分别为盐沼1.02,裸滩0.70,红树林0.65;廉州湾潮间带大型底栖动物年湿质量生产量为14623 t。水体盐度和植被类型是影响廉州湾潮间带大型底栖动物群落结构的优势种群以致次级生产力的空间分布变化的主要因素。

**关键词** 滨海湿地;潮间带大型底栖动物;次级生产力;红树林;盐沼;裸滩;廉州湾  
**中图分类号** S932 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)8-2104-09

**Secondary productivity of benthic macrofaunal community in intertidal zone of Lianzhou Bay, China.** HE Bin-yuan<sup>1,2\*\*</sup>, LAI Ting-he<sup>1,2</sup>, WANG Xin<sup>1,2</sup>, PAN Liang-hao<sup>1,2</sup>, CAO Qing-xian<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Science, Beihai 536000, Guangxi, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Guangxi Mangrove Protection and Utilization, Beihai 536000, Guangxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(8): 2104–2112.

**Abstract:** A seasonal investigation was conducted on the dynamic changes of benthic macrofaunal community in the three types of intertidal habitats, *i. e.*, bare flat, mangrove forest, and *Cyperus malaccensis* saltmarsh, in Lianzhou Bay in January, April, July, and October, 2011, and the Brey's empirical formula was applied to estimate the secondary productivity of benthic macrofaunal community in the three habitats. A total 156 species belonging to 8 phyla of intertidal benthic macrofauna were collected, among which, 136, 85, and 29 species were recorded in bare flat, mangrove forest, and saltmarsh habitats, respectively. The average species abundance per sampling station was  $9.5 \pm 4.8$  species in bare flat,  $9.5 \pm 3.9$  species in mangrove forest, and  $5.9 \pm 1.9$  species in saltmarsh, respectively. In all the three habitats, the percentages of different categories to total species followed the same decreasing order of Mollusk > Arthropod > Annelid > Chordate > other categories. The community structure of the benthic macrofauna in saltmarsh had smaller change, with *Ilyoplax ningpoensis* significantly dominated. In mangrove forest and bare flat, the dominant species changed with the water salinity. In the intertidal zone of Lianzhou Bay, the average secondary productivity of the benthic macrofaunal community was  $15.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , and that in bare flat, mangrove forest, and saltmarsh was  $16.16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,

\* 广西北部湾重大专项(2010GXNSFE013004、2011GXNSFE018005)、广西科学院基本科研业务费项目(10YJ25HS03)、广西自然科学基金项目(桂科自0991070)和北海市科学研究与技术开发计划项目(200601057)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: hebinyuan2008@126.com

收稿日期: 2013-01-11 接受日期: 2013-05-05

9.97 g · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, and 3.88 g · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, respectively. The average P/B ratio in the intertidal zone was 0.70, and that in bare flat, mangrove forest, and saltmarsh was 0.70, 0.65, and 1.02, respectively. The annual secondary production in the intertidal zone was 14623 t (FM). Water salinity and vegetation type were the major factors affecting the community structure of the intertidal benthic macrofauna, and further, the spatial distribution of the secondary productivity of the benthic macrofauna in Lianzhou Bay.

**Key words:** coastal wetland; intertidal benthic macrofauna; secondary productivity; mangrove; saltmarsh; bare flat; Lianzhou Bay.

广西北部湾沿海拥有大面积的红树林、盐沼、海草和珊瑚礁等滨海湿地,尤以红树林湿地分布广泛。广西沿海红树林面积有 8374.9 hm<sup>2</sup>, 占中国红树林总面积的 38%, 天然林面积居中国首位。广西沿海 14 个主要海湾均有大面积红树林生长, 少则数百多则千余公顷, 其中 10 个海湾的红树林岸线率在 80% 以上, 在宏观上沿整个广西海岸线呈展开式均匀分布(李春干, 2004); 红树林在维持广西近海生态安全和可持续发展起着十分重要的作用。红树林的生物累积作用非常强烈, 具有高生产力、高归还率、高分解速率等“三高”特点, 红树林凋落物腐烂分解后向周围环境输出大量的有机物和无机物, 所携带的能量使得河口海湾生态系统的生物机制得以更高速地运转(Odum & Heald, 1975; 林鹏, 1997; 范航清, 2000)。盐沼也是广西河口生态系统重要的初级生产者之一, 与红树林一样具有较高的生产力及生态功能, 广西重要的盐沼植物荦芒年净初级生产力达 2148.53 g · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>(潘良浩, 2011)。滨海湿地植物群落不仅以其初级生产力支撑海洋动物的物质和能量消耗, 同时也以其丰富多样的异质性生境容纳和庇护海洋动物, 构成种类繁多的海洋动物的栖息地、饵料场和繁殖地。其中大型底栖动物是滨海湿地生态系统重要的组成部分之一, 大型底栖动物取食浮游生物、底栖藻类和有机碎屑, 又被更高营养级的海洋动物捕食, 其生产力与渔业的产量紧密相关。近年来, 中国在海洋动物次级生产力领域的研究越来越广泛深入, 研究人员在山东的胶州湾(李新正等, 2005; 袁伟等, 2007)、辽东半岛的旅顺(刘修泽等, 2011)、浙江的象山港(王金辉等, 2006; 张海波等, 2010)和渔山列岛(焦海峰等, 2011)、福建的海坛(吕小梅等, 2008a, 2008b)、厦门(周细平等, 2008)、深沪湾(梁俊彦等, 2008)、三都澳(周进和纪炜炜, 2012)、广东的大亚湾(杜飞雁等, 2008)、深圳湾(金亮等, 2008)和湛江(蔡立哲等, 2012)等地, 开展了细致的研究, 但目前有关广西北部湾海域

的海洋动物次级生产力研究几近空白。

海岸潮间滩涂位于陆海过渡带, 是自然过程和人类扰动最为频繁强烈的地区。历史上发达国家的滨海地区发展过程中, 都围填占用包括红树林、盐沼在内的大量滨海湿地, 破坏后的重建和恢复耗费大量人力物力(Sinicrope *et al.*, 1990; Warren *et al.*, 2002; Lewis, 2005)。随着广西北部湾经济区建设快速推进, 北部湾近岸河口海湾生态质量持续恶化, 各种来源的污染物大量排海, 大面积围填潮间带滩涂造陆, 渔业资源捕捞过度, 导致近海水体富营养化加剧, 海洋赤潮频发、危害加重, 生物多样性丧失, 滨海湿地生态系统生产力显著降低。扰动显著影响滨海湿地潮间带底栖生物的群落结构、生物多样性和生产力(Osman, 1977; 范航清等, 2000), 开展滨海湿地潮间带底栖生物的监测和评估, 有助于维护广西北部湾经济区海洋生态安全。本研究于 2011 年 4 个季度代表月开展了广西廉州湾裸滩、红树林和盐沼 3 种潮间带主要生境的大型底栖动物调查, 目的是阐明海洋高等植物对廉州湾潮间带次级生产力维持和发展的作用, 为中国滨海湿地的可持续利用和科学管理提供科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

廉州湾地处广西北部湾沿海的北海市市区北面, 范围由北海半岛西南端冠头岭岬角至大风江口东岸大木神村的连线与北、东、南三面岸线围成, 水域面积 237 km<sup>2</sup>, 其中潮间带滩涂面积为 165.78 km<sup>2</sup>, 占水域总面积的 69.9%。廉州湾为断陷河口湾, 有南流江、大风江、廉州江、七星江等注入, 形成一定规模的河口三角洲(黎广钊等, 2002)。廉州湾属亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 22.4 °C, 全年 ≥ 10 °C 的活动积温 7571 °C。年日照 1921 h。年降水量 1663.1 mm, 蒸发量 1780.7 mm。年均相对湿度 81.5%。该湾的潮汐为正规全日潮, 平均潮

差 2.46 m,最大潮差 5.36 m,多年平均海面 0.37 m。2007 年开展的“908”专项调查表明,廉州湾有天然红树林面积 594.6 hm<sup>2</sup>。自河口上游往外海方向,红树群落类型有规律地变化,由老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)灌丛到桐花树(*Aegiceras corniculatum*)群落,发展到向海缘为白骨壤(*Avicennia marina*)群落、向陆缘为秋茄(*Kandelia obovata*)群落的区域性典型林带。廉州湾盐沼主要为茳芏(*Cyperus malaccensis*)群落,面积 81.6 hm<sup>2</sup>。

1.2 调查站位设置与采样

本研究于 2011 年 1、4、7 和 10 月在廉州湾潮间带设置了 T<sub>1</sub>至 T<sub>12</sub>共 12 条调查断面。南流江河床普遍被冲刷侵蚀,T<sub>1</sub>至 T<sub>4</sub>断面的红树林和林外滩涂均狭窄,在红树林和裸滩各设 1 个站位;T<sub>10</sub>和 T<sub>11</sub>断面的红树林宽但林外无裸滩,在靠陆林带、中间林带和向海林带各设 1 个站位。无林裸滩断面(T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub>、T<sub>8</sub>和 T<sub>12</sub>)及盐沼断面滩涂较宽,在高、中、低潮区各设 1 个取样站。共计 33 个站位(图 1)。

潮间带大型底栖动物定量调查采用样方法。在每个站位随机采集 4 个定量样方,样方大小为 50 cm×50 cm,采样深度 30 cm。采集样方框内的沉积物放入网目 1 mm 的二层套筛内反复冲洗,拣出滞留网上肉眼可见的动物。所得样品用 500 mL 塑料瓶盛装,加入 5% 甲醛固定。潮间带大型底栖动物样品在固定 5 d 后进行种类鉴定,定量标本按种计数,使用感量为 0.001 g 的电子天平称重。依据取样面积,将个体数和湿重换算成栖息密度(ind·m<sup>-2</sup>)和生物量(g·m<sup>-2</sup>)。4 个季度均测定涨潮水的盐度。

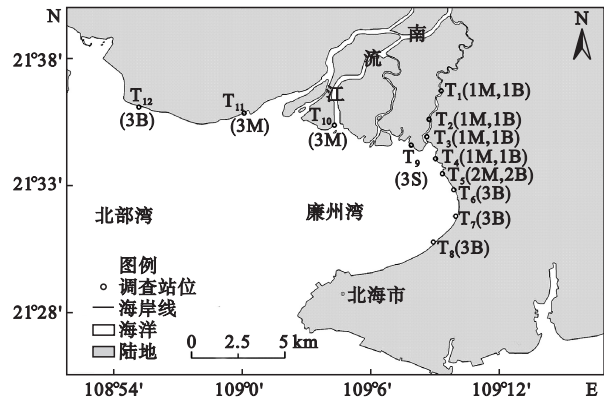


图 1 广西廉州湾潮间带大型底栖动物群落调查断面分布示意图

Fig.1 Sampling stations for the intertidal benthic macrofauna communities in Lianzhou Bay, Guangxi

断面号后的括号内列出生境及取样站位数量。B=裸滩,M=红树林,S=盐沼,数字为某一生境取样站位数量。

1.3 数据处理

1.3.1 次级生产力计算 将 2011 年 4 个季节的潮间带大型底栖动物密度、生物量平均,得到年均密度和年均生物量,次级生产力  $P(g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1})$  计算采用 Brey (1990) 的经验公式:

$$\lg P = 0.27 \lg A + 0.737 \lg B - 0.4.$$

式中,A 为年均密度(ind·m<sup>-2</sup>),B 为年均去灰分干质量生物量(g·m<sup>-2</sup>)。在 Brey 经验公式中,湿质量生物量转化为干质量生物量的比例采用 5:1,干质量转化为去灰分干质量的比例采用 10:9(Brey, 1990; 茉莉和帕森斯,2000)。

1.3.2 群落指数计算 相对重要值  $V(\%)$  计算采用范航清等(1998)的算式:

$$V = n_i \times w_i / \sum (n_i \times w_i) \times 100\%$$

式中, $n_i$  为第  $i$  种密度, $w_i$  为第  $i$  种生物量。 $V(\%) \geq 1\%$  的种为潮间带大型底栖动物优势种群。

群落物种相似性指数  $S_i(\%)$  采用赖廷和等(1998)的算式:

$$S_i = C / (A + B - C) \times 100\%.$$

式中,C 为 2 种生境共有的物种数,A、B 为 2 种生境的物种数。

2 结果与分析

2.1 廉州湾潮间带大型底栖动物群落种类组成

4 个季度定量样方采集到的廉州湾潮间带大型底栖动物标本共鉴定出 8 门 156 种(表 1)。其中,软体动物门种类最多,有 62 种,占总种数的 39.7%;节肢动物门次之,有 45 种,占总种数的 28.8%;环节动物门多毛类居第三,有 32 种,占 20.5%;脊索动物门鱼类有 12 种;其他门类有 5 种,包括扁形动物 1 种、纽形动物门 1 种、腕足动物门 1 种和星虫动物门 2 种。

在廉州湾,由于红树林、盐沼等海洋高等植物群落的存在,盐度和湿地植被 2 种因素共同主导了潮间带大型底栖动物群落种数的空间分布,在两个水体盐度区间,种数与水体盐度具有正相关关系。图 2 展示廉州湾各断面潮间带大型底栖动物群落种数分布,T<sub>1</sub>至 T<sub>5</sub>及 T<sub>10</sub>、T<sub>11</sub>等 7 个断面均有红树分布,断面种数随着水体盐度增大,T<sub>1</sub>的站位平均种数为(4.6±1.3)种,至 T<sub>5</sub>断面达到廉州湾的种数最高值,站位平均种数达到(14.3±4.9)种。仅有裸滩生境的 T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub>、T<sub>8</sub>和 T<sub>12</sub>断面盐度更高,但其异质性复杂程



表 1 廉州湾潮间带大型底栖动物群落种类组成  
Table 1 Species composition of intertidal macrofauna community in Lianzhou Bay

类 群	裸滩		红树林		盐沼		廉州湾	
	种数	占生境总种数比例(%)	种数	占生境总种数比例(%)	种数	占生境总种数比例(%)	种数	占生境总种数比例(%)
环节动物门	30	22.1	13	15.3	3	10.3	32	20.5
软体动物门	51	37.5	34	40.0	13	44.8	62	39.7
节肢动物门	41	30.1	28	32.9	9	31.0	45	28.8
脊索动物门	10	7.4	7	8.2	3	10.3	12	7.7
其他门类	4	2.9	3	3.5	1	3.4	5	3.2
合计	136	-	85	-	29	-	156	-

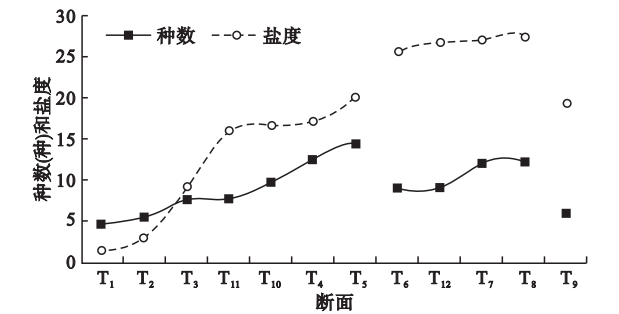


图 2 廉州湾各断面潮间带大型底栖动物群落种数随盐度变化趋势  
Fig. 2 Change of species abundance in different survey sections with salinity in Lianzhou Bay

度低于既有红树林又有裸滩生境且盐度适中的  $T_4$  和  $T_5$  断面,导致其站位平均种数相对较小;同时,这 4 个仅有裸滩断面又出现一个种数与水体盐度的正相关对应。 $T_9$  是盐度较低的盐沼生境断面,物种丰度处于较低水平,仅有  $5.9 \pm 1.9$  种。

定量采样在 3 种生境所获的潮间带大型底栖动物种数分别为:裸滩 136 种;红树林 85 种;盐沼 29 种。这与不同生境的站位数量差异较大有关,裸滩、红树林和盐沼的调查站位分别为 18 个、12 个和 3 个(图 1),导致所采集到的动物种数相差较大。但以平均每个调查站位的种数(平均值 $\pm$ 标准差)比较,则裸滩平均为  $(9.5 \pm 4.8)$  种,红树林为  $(9.5 \pm 3.9)$  种,盐沼为  $(5.9 \pm 1.9)$  种;裸滩与红树林差异不显著( $P > 0.05$ ),这两种生境均与盐沼差异极显著( $P < 0.001$ )。

生境间的物种相似性指数以裸滩与红树林生境间的最大,为 42.6%,裸滩与盐沼生境间的相似性最低,为 14.6%,红树林与盐沼生境间的相似性居中,为 32.6%。红树林生境 85 种中有 77.6% (66 种)、盐沼生境 28 种中有 72.4% (21 种) 出现在裸滩生境。

虽然定量样方采样在 3 种生境所获种数差异较

大,但各动物类群的种数占某一生境总种数比例的大小顺序却一致,均表现为:软体动物门>节肢动物门>环节动物门>脊索动物门>其他门类。软体动物门、节肢动物门和环节动物门构成廉州湾潮间带大型底栖动物群落组成的主体。

2.2 廉州湾潮间带大型底栖动物群落优势种群及其相对重要值

采用相对重要值 $\geq 1\%$ 作为划分群落优势种标准,表 2 仅列出了居前 5 位的优势种及其相对重要值。可看出,廉州湾盐沼湿地的 3 个站位和整个断面均以宁波泥蟹 (*Ilyoplax ningpoensis*) 为最大优势种,相对重要值为 72.4% ~ 99.1%,优势度非常明显。

红树林生境潮间带大型底栖动物群落优势种的空间变化明显:在盐度较低的上游断面  $T_1$  至  $T_4$  的红树林站位,均以弧边招潮 (*Uca arcuata*) 为最大优势种,相对重要值在 68.9% ~ 98.3%,除  $T_2$  站位的河蚬为 15.6% 外,其他优势种均在 5.1% 以下。在水体盐度居中的  $T_{10}$  和  $T_{11}$  断面的红树林站位,优势种比上游更为丰富,弧边招潮的相对重要值降低,双齿相手蟹 (*Sesarma bidens*)、长足长方蟹 (*Metaplex longipes*)、褶痕相手蟹 (*S. plicata*) 和黑口滨螺 (*Littoraria melanostoma*) 的重要程度逐渐提升。在廉州湾盐度最高的红树林断面  $T_5$ ,不但植物群落由河口性质强烈的桐花树林转向适应更高盐度生境的秋茄林和白骨壤,其大型底栖动物群落也由穴居生活型蟹类占优转向底上生活型软体类更为优势,珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*) 成为最重要的优势种,在秋茄林和白骨壤林的相对重要值分别为 76.1% 和 86.5%,红树蚬 (*Gelolna coxans*) 和宁波泥蟹也较重要。

裸滩生境潮间带大型底栖动物群落优势种随盐度变化而显著改变:盐度较低的  $T_1$  和  $T_2$  断面均以弧边招潮和河蚬 (*Corbicula fluminea*) 相对重要值最高,裸滩生境大型底栖动物群落与红树林生境接近。

表 2 廉州湾潮间带大型底栖动物群落优势种群及其相对重要值、次级生产力及 P/B 值  
Table 2 Dominant populations, relative important values, secondary productivities and the productivity-to-biomass ratios (P/B) of the intertidal macrofauna communities in Lianzhou Bay, China

断面	生境类型	次级生产力 P (g · m <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	次级生产力与 生物量比值(P/B)	优势种及其相对重要值 V(%) *
T <sub>1</sub>	裸滩	10.79	0.61	UCA 83.2, COF 7.0, SER 4.7, CLS 2.0, HET 1.7
	老鼠筋灌丛	8.56	0.39	UCA 98.3
	全断面	9.68	0.50	UCA 94.2, COF 1.8, SER 1.7, HET 1.1
T <sub>2</sub>	裸滩	6.92	0.51	UCA 78.5, COF 14.9, SEB 2.8, DOV 1.5, CAS 1.0
	桐花树林	8.97	0.50	UCA 68.9, COF 15.6, DOV 4.3, SEP 4.2, SED 3.5
	全断面	7.94	0.51	UCA 73.1, COF 16.4, SEB 4.8, DOV 2.8, SEP 1.1
T <sub>3</sub>	裸滩	12.19	0.56	LIM 36.9, HET 27.3, UCA 14.7, SEP 10.2, PAD 4.6
	桐花树林	10.09	0.54	UCA 89.5, ILN 2.1, LIM 1.8, SED 1.4, HET 1.2
	全断面	11.14	0.55	UCA 56.2, LIM 17.4, HET 12.9, SEP 5.7, DOV 1.8
T <sub>4</sub>	裸滩	15.83	0.97	ILN 44.7, NEJ 29.6, SER 22.3, CLD 1.4, MEL 1.31
	桐花树林	9.33	0.73	UCA 86.1, MEL 5.1, LIC 5.0, LIM 1.6
	全断面	12.58	0.85	ILN 36.8, NEJ 23.4, SER 17.8, UCA 15.6, MEL 3.6
T <sub>5</sub>	秋茄林	14.76	0.57	CEC 76.1, GEC 12.3, UCA 3.1, CLD 3.1, CEM1.9
	白骨壤林	13.74	0.79	CEC 86.5, ILN 7.3, MSJ 1.3, UCV 1.2
	中潮带裸滩	7.89	0.66	CEC 41.7, UCV 35.9, MED 10.9, BAZ2.4, MSJ 2.0
	低潮带裸滩	11.79	0.73	GLC 51.0, UCV 32.1, NEJ 5.9, GLA 5.6, ILN 3.2
	全断面	12.04	0.69	CEC 71.3, UCV 9.8, GLC 6.8, ILN 3.2, GEC 1.4
T <sub>6</sub>	高潮带裸滩	34.93	0.57	CEC 73.9, CYS 15.4, MED 4.1, BAZ3.5, GLC 1.3
	中潮带裸滩	18.37	0.74	CEC 96.2
	低潮带裸滩	14.42	0.70	CEC 59.1, BAZ31.9, MOI 6.1
	全断面	22.57	0.67	CEC 87.4, BAZ5.9, CYS 2.3, MOI 2.0, MED 1.4
	高潮带裸滩	32.89	0.72	CEC 93.2, UCV 3.6
T <sub>7</sub>	中潮带裸滩	19.45	0.72	CEC 84.9, BAZ 14.5
	低潮带裸滩	13.23	0.70	BAZ 87.8, CEC 11.4
	全断面	21.86	0.71	CEC 85.5, BAZ 13.9
	高潮带裸滩	27.92	0.86	CEC 59.7, CLO 28.2, GLC 9.2, UCV 2.0
	中潮带裸滩	10.06	0.76	CLO 28.5, MED 20.1, GLC 17.7, CEC 12.3, NAH 7.9
T <sub>8</sub>	低潮带裸滩	8.89	0.60	MEM 36.2, CLC 36.1, SOG 21.9, MIL 4.2
	全断面	15.62	0.74	CEC 53.0, CLO 29.7, GLC 11.1, UCV 1.5, NAF 1.2
T <sub>9</sub>	高潮带盐沼	3.89	0.78	ILN 72.4, SEP 17.3, HET 5.4, MEL 3.7, GLC 1.2
	中潮带盐沼	3.76	1.20	ILN 99.1
	低潮带盐沼	3.99	1.08	ILN 90.0, GAG 5.4, HET 1.9, CES 1.2
	全断面	3.88	1.02	ILN 97.1
T <sub>10</sub>	向陆桐花树林	15.95	0.59	SEP 39.7, UCA 36.2, LIM 9.7, PAD 3.6, HET 2.6
	中间桐花树林	11.73	0.58	SEB 48.7, UCA 34.5, LIM 5.9, ILN 4.3, MEL 3.1
	向海桐花树林	10.96	0.72	UCA 53.8, DOW 17.3, LIM 9.4, PAD 4.4, HET 3.8
	全断面	12.88	0.63	UCA 51.8, SEB 12.7, SEP 11.5, LIM 11.0, DOW 2.7
T <sub>11</sub>	向陆桐花树林	3.05	0.86	MEL 78.8, PAD 8.7, ILT 6.0, PEC 1.6
	中间桐花树林	6.82	0.78	UCA 54.1, ILN 21.6, PAD 6.4, ILT 6.1, ONV 4.1
	向海桐花树林	5.75	0.72	LIM 34.4, ILN 17.3, GLC 15.3, MEL 14.1, UCA 11.6
	全断面	5.21	0.79	MEL 31.9, UCA 24.6, ILN 16.7, PAD 7.5, LIM 4.7
T <sub>12</sub>	高潮带裸滩	19.26	0.87	CEC 97.9, REB 1.2
	中潮带裸滩	15.94	0.59	CEC 95.3, UCV 4.7
	低潮带裸滩	10.15	0.67	REB 45.5, CEC 29.6, UCV 17.8, MED 2.8, CYS 2.8
	全断面	15.12	0.71	CEC 93.3, REB 3.9, UCV 1.9
廉州湾平均		15.88	0.70	—

\* BAZ=纵带滩栖螺 *Batillaria zonalis*, CAS=六齿猴面蟹 *Camptandrium sexdentatum*, CEC=珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata*, CEM=小翼拟蟹守螺 *Cerithidea microptera*, CES=中华拟蟹守螺 *Cerithidea sinensis*, CLC=细螯寄居蟹 *Clibanarius clibanarius*, CLD=宽身拟闭口蟹 *Cleistostoma dilatatum*, CLO=奥莱彩螺 *Clithon oualaniensis*, CLS=多色彩螺 *Clithon sowerbianus*, COF=河蚬 *Corbicula fluminea*, CYS=青蛤 *Cyclina sinensis*, DOV=紫游螺 *Dostia violacea*, DOW=韦氏毛带蟹 *Dotilla wemmanni*, GAG=钩虾 *Gammarus gregoryi*, GEC=红树蚬 *Gelolna coaxans*, GLA=弓绿螂 *Glauconne cerea*, GLC=中国绿螂 *Glauconne chinensis*, HET=伍氏厚蟹 *Helice tridens*, ILN=宁波泥蟹 *Ilyoplax ningpoensis*, ILT=淡水泥蟹 *Ilyoplax tansuiensis*, LIC=红果滨螺 *Littorina coccinea*, LIM=黑口滨螺 *Littoraria melanostoma*, MED=透明美丽蛤 *Merisca diaphana*, MEL=长足长方蟹 *Metaplex longipes*, MEM=文蛤 *Meretrix meretrix*, MIL=长腕和尚蟹 *Mictyris longicarpus*, MOI=彩虹明樱蛤 *Moerella iridescens*, MSJ=日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus*, NAF=秀丽织纹螺 *Nassarius festivus*, NAH=节织纹螺 *Nassarius hepaticus*, NEJ=日本刺沙蚕 *Neanthes japonica*, ONV=石磺 *Onchidium verruculatus*, PAD=扁平拟闭口蟹 *Paracleistostoma depressum*, PEC=独齿围沙蚕 *Perinereis cultrifera*, REB=婆罗囊螺 *Retusa borneensis*, SEB=双齿相手蟹 *Sesarma bidens*, SED=无齿相手蟹 *Sesarma dehaani*, SEP=褶痕相手蟹 *Sesarma plicata*, SER=斜肋齿蟴 *Sermyla riqueti*, SOG=大竹蛏 *Solen grandis*, UCA=弧边招潮 *Uca arcuata*, UCV=凹指招潮 *Uca vocans*。

在  $T_3$  断面,弧边招潮的重要值显著降低,黑口滨螺和伍氏厚蟹 (*Helice tridens*) 更为优势。自此向下游盐度更高的裸滩生境的优势种不再出现弧边招潮,  $T_5$  之后的断面河口性质减弱,珠带拟蟹守螺成为较高盐度断面的最大优势种,尤其在中、高潮带的站位重要值较高,纵带滩栖螺 (*Batillaria zonalis*)、文蛤 (*Meretrix meretrix*)、奥莱彩螺 (*Clithon oualaniensis*)、婆罗囊螺 (*Retusa borneensis*) 等的重要值也较高,软体类优势地位非常显著。

### 2.3 廉州湾潮间带大型底栖动物群落次级生产力的断面差异

从表 2 可看出,廉州湾潮间带大型底栖动物群落的次级生产力平均为  $15.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。该湾潮间带大型底栖动物群落的年均密度为  $146 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ,年均去灰分生物量为  $18.87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

以断面为统计单元的平均次级生产力比较表明,无植被的  $T_6$ 、 $T_7$ 、 $T_8$  和  $T_{12}$  这 4 个裸滩断面居前列,以  $T_6$  断面最高,达  $22.57 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,4 个裸滩断面平均为  $18.79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。 $T_{10}$  和  $T_{11}$  断面都仅有红树林站位,但次级生产力则相差较大,分别为  $12.88$  和  $5.21 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,它们虽然均为桐花树林,但  $T_{10}$  林下潮间带大型底栖动物群落为弧边招潮+双齿相手蟹+褶痕相手蟹+黑口滨螺群落,  $T_{11}$  为长足长方蟹+弧边招潮+宁波泥蟹群落(表 2),且密度和生物量相差较大。既有红树林又有裸滩生境的断面居中游水平,同时差异较大,总体趋势表现为:河口上游的断面较低,河口下游断面较高,数值范围在  $7.94 \sim 12.58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,平均为  $10.68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在仅有裸滩的断面上,表现出次级生产力随水深增大而递减的趋势,即高潮带>中潮带>低潮带;但在既有红树林又有裸滩生境的断面则不一定存在这种趋势,虽然本文同一断面中的裸滩生境高程均低于红树林生境。 $T_9$  断面的次级生产力最低,仅有  $(3.88 \pm 0.11) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

### 2.4 廉州湾潮间带大型底栖动物群落次级生产力的生境差异

廉州湾潮间带 3 种生境的次级生产力差异极显著 ( $P < 0.001$ )。裸滩生境潮间带大型底栖动物的次级生产力平均为  $(16.16 \pm 8.23) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,数值范围在  $6.92 \sim 34.93 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,站位间差异较大,最高值和最低值分别出现在  $T_6$  的高潮带裸滩和  $T_2$  的裸滩。珠带拟蟹守螺是多数裸滩站位的第一优势种,一般有较高的密度和生物量,因此次级生产力

较高。

红树林生境潮间带大型底栖动物的次级生产力平均为  $(9.97 \pm 3.77) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,最高出现在  $T_{10}$  的向陆林带,为  $15.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,最低值出现在  $T_{11}$  断面的向陆林带,仅有  $3.05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。按植物群落类型统计,则老鼠簕群落<桐花树群落<白骨壤群落<秋茄群落,分别为  $8.56$ 、 $9.18$ 、 $13.74$  和  $14.76 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。红树林生境有 2 个差异很大的优势种群:弧边招潮和珠带拟蟹守螺。弧边招潮是领域性很强的蟹类,往往密度过低,生物量不高;珠带拟蟹守螺则群聚性强,一般有较高的密度和生物量。以弧边招潮占据优势的低盐红树林站位的次级生产力较低,而珠带拟蟹守螺占优的相对高盐红树林站位的次级生产力较高。

盐沼生境的 3 个站位的次级生产力差异很小,在  $3.76 \sim 3.99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,平均为  $(3.88 \pm 0.11) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。盐沼滩涂根系密布、土壤紧实,不利于底内型动物生活,同时地上部相对柔弱而难以建立起像红树林那样的可供底上型动物攀爬的立体结构,初级生产力难以直接利用,优势种宁波泥蟹密度不高且生物量低,因此群落次级生产力低下。

### 2.5 廉州湾潮间带大型底栖动物群落的 P/B 值差异

廉州湾潮间带大型底栖动物群落的 P/B 值平均为  $0.70$ (表 2)。P/B 值分布与次级生产力不一致,裸滩生境与红树林生境差异不显著 ( $P > 0.01$ ),两者都显著地 ( $P < 0.001$ ) 低于盐沼生境。

裸滩生境的 P/B 值平均为  $(0.70 \pm 0.12)$ ,最高值出现在  $T_4$  的林外裸滩,为  $0.97$ ;最低值出现在  $T_2$  的林外裸滩,为  $0.51$ ;优势种分别为宁波泥蟹和弧边招潮(表 2),这 2 个种体型差异较大,个体湿重分别为  $0.12$  和  $7.40 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$ 。珠带拟蟹守螺在裸滩站位中普遍地占据较大优势,其个体生物量介于宁波泥蟹和弧边招潮之间,因而,以珠带拟蟹守螺为优势种的裸滩站位的 P/B 值处在中等水平。

红树林生境的 P/B 值平均为  $(0.65 \pm 0.14)$ ,最低值出现在  $T_1$  的老鼠簕灌丛,为  $0.39$ ,优势种弧边招潮的个体湿重  $6.90 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$ ,优势度达  $98.3\%$ ;最高出现在  $T_{11}$  断面的向陆林带,为  $0.86$ ,优势种长足长方蟹的优势度  $78.8\%$ ,个体湿重为  $0.66 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$ 。按植物群落统计,则老鼠簕灌丛<秋茄林<桐花树林<白骨壤林,分别为  $0.39$ 、 $0.57$ 、 $0.67$  和  $0.79$ 。



盐沼生境的 P/B 值平均  $1.02 \pm 0.22$ , 3 个站位均以个体平均湿重  $0.11 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$  的宁波泥蟹为优势种(表 2)。可看出, 宁波泥蟹的优势程度越显著, P/B 值就越高, 表明盐沼潮间带大型底栖动物群落趋向于个体小型化, 生命周期较短。

### 3 讨论

#### 3.1 生境因子对潮间带大型底栖动物次级生产力的影响

从 Brey (1990) 经验公式的参数构成上可看出, 密度和生物量直接决定了次级生产力的大小, 但诸多文献一直探讨其背后深层次原因, 通常认为温度、底质性质、水深、食物、群落结构等是主要因素 (Brey *et al.*, 1998; 吕小梅等, 2008a; 蔡立哲等, 2012)。P/B 值是次级生产力与生物量的比值, 表示生物量轮回的次数, P/B 值高低与生物的生命周期有关 (Tumbiolo & Downing, 1994), 一般而言, 个体小物种比个体大物种的轮回次数多。同时, 次级生产力与 P/B 值的分布规律往往不一致。

周细平等 (2008) 比较发现, 大型底栖动物平均次级生产力为: 厦门海域 < 海坛海峡 < 胶州湾, 随着纬度的增加有递减的趋势。温度因素在较大空间尺度的比较时才有实际意义。蔡立哲等 (2012) 指出, 相对狭窄的调查区域内不同红树群落之间的温度及底质类型接近, 不是引起次级生产力差异的主要因素。

Brey 等 (1998) 指出, 大型底栖动物次级生产力随水深增加而下降, 李新正等 (2005) 比较胶州湾、南黄海与东海的研究结果支持了这一推论, 袁伟等 (2007)、周细平等 (2008) 的研究也有相同结果。本研究表明: 在仅有裸滩的断面上, 表现出次级生产力随水深增大而递减的趋势, 即高潮带 > 中潮带 > 低潮带; 但在既有红树林又有裸滩生境的断面则不一定存在这种趋势。吕小梅等 (2008a) 调查福建海坛海峡潮间带底栖动物次级生产力年平均为  $3.72 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 年平均 P/B 值为 1.74, 比其同期相同海区潮下带底栖动物的次级生产力  $10.58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、P/B 值 1.80 低 (吕小梅等, 2008b)。这与 Brey 等 (1998) 的推论不符, 可能是沉积物类型、动物群落结构和采样方法等因素掩盖了水深因素的影响。

底质性质对大型底栖动物群落结构及生产力影响较大。福建深沪湾的沙滩潮间带底栖动物群落种类少、数量高, 群落结构简单, 优势种腹足类的昌螺

(*Umbonium vestiarium*) 的密度和生物量均很高, 次级生产力平均为  $48.79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , P/B 值为 1.30 (梁俊彦等, 2008)。深圳湾北岸红树林外泥滩潮间带优势类群是个体重量较轻的多毛类动物, 但密度达到  $10^3 \sim 10^4$  水平, 平均次级生产力高达  $54.55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , P/B 值为 2.95 (金亮等, 2007)。硬相底质潮间带往往次级生产力较高, 刘修泽等 (2011) 在旅顺南部基岩海岸记录了潮间带大型底栖动物的次级生产力达  $464.96 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 浙江渔山列岛岩礁潮间带大型底栖动物次级生产力平均为  $285.58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  (焦海峰等, 2011)。

人类对海岸潮间带的影响几乎无处不在, 导致生境因素变化, 从而影响动物群落结构、数量以致次级生产力, 但不同的扰动方式影响效果各异, 促进和抑制现象在不大的区域共存。深圳湾北岸红树林外泥滩受城市生活生产污水的影响, 多毛类和寡毛类等耐高有机负荷的种类栖息密度较高, 次级生产力和 P/B 值均很高 (金亮等, 2007)。福建东北部的三都澳受水产养殖及人类活动影响较大, 密集养殖区大型底栖动物年平均生物量和次级生产力水平较低, 但年平均栖息密度较高, 与自然水域差别明显 (周进和纪炜炜, 2012)。象山港港口潮间带底栖生物次级生产力高, 港内底栖生物次级生产力由湾口到湾顶呈明显升高趋势, 张海波等 (2010) 认为这一分布模式与该水域受长江、钱塘江等排污的陆源营养盐浓度密切相关。旅顺南部基岩海岸潮间带大型底栖动物群落虽然简单, 但次级生产力很高, 刘修泽等 (2011) 指出该区域为确权海域, 潮间带生物资源管理较科学合理, 非理性的人为干预较少, 经济种的采捕是采大留小。

次级生产力受多因素共同影响, 片面强调某一因素可能导致结论偏颇; 同时, 剖析生境类型、群落结构方面的具体异同及原因可能更有意义, 诸多文献都表明了即使在同一海区, 不同生境或站位可能出现次级生产力差异较大。

#### 3.2 红树林等滨海植被对海域次级生产力的贡献

比较本文中 3 种潮间带生境的次级生产力, 裸滩生境显著高于红树林和盐沼生境, 但不应因此得出红树林、盐沼等高等植物对整个海域次级生产力贡献低的结论。红树林和盐沼是初级生产力很高的滨海生态系统。红树林凋落物分解后形成可溶性养分和颗粒状有机碎屑, 开启了 2 种性质不同的食物关系走向; 其一, 可溶性有机和无机物为底栖硅藻和

浮游植物等低等植物提供初级生产的基础原料,初级生产物由此被浮游动物利用;而底栖硅藻、浮游植物、浮游动物是大部分大型底栖动物和鱼类的饵料。其二,颗粒状有机碎屑被许多虾蟹和杂食性鱼类直接食用而进入更高的营养级。丰富的能流和物流通过潮汐达到远程辐射,红树林对近海生态系统的贡献范围超出其自身生境(林鹏,1997;范航清,2000;何斌源等,2007)。

华南河口海湾潮间带普遍地共存着红树林、盐沼和裸滩生境,三者间既有特殊性,也有共性,虽然植被或有或无、植被类型不同,但都具有海洋性质。对于大型底栖动物而言,在红树林、盐沼与周边其他生境之间交流畅通,本研究定量采集得到的红树林生境 85 种中有 77.6% (66 种)、盐沼生境 28 种有 72.4% (21 种) 出现在裸滩生境,如果加上定性样品,则这一比例更高;而且各类群动物种数占总种数的比例一致。结合断面分布图 1 和表 2 可看出,4 个仅有裸滩站位的断面次级生产力大小顺序为:  $T_6 > T_7 > T_8 > T_{12}$ , 即距离红树林越远其平均次级生产力就越低。深圳湾北岸潮间带泥滩的次级生产力高达  $54.55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 高于英国 Lynher 河口潮间带泥滩的  $13.31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 金亮等(2007)认为红树林及其碎屑为大型底栖动物提供了丰富的食物来源是主要原因之一。蔡立哲等(2012)报道湛江高桥的无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)、桐花树、盐地鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)和木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)生境次级生产力分别为 18.16、17.67、8.34 和  $2.92 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , P/B 值分别为 1.23、0.99、0.48 和 2.38。本研究,老鼠筋群落、桐花树群落、白骨壤群落和秋茄群落次级生产力分别为 8.56、9.18、13.74 和  $14.76 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 与湛江高桥红树林基本处于同一水平,且均表现出个体较大的软体类和甲壳类对次级生产力的贡献远高于个体小的多毛类。

### 3.3 廉州湾潮间带年次级生产量估算

廉州湾 3 种主要生境的面积为:红树林  $594.6 \text{ hm}^2$ , 盐沼  $81.6 \text{ hm}^2$ , 裸滩  $15901.8 \text{ hm}^2$ ; 潮间带大型底栖动物次级生产力分别为:红树林  $9.97 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 盐沼  $3.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 裸滩  $16.16 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。以面积加权计算出整个廉州湾潮间带年生产量为去灰分干重  $2632 \times 10^3 \text{ kg}$ , 即是干重  $2925 \times 10^3 \text{ kg}$ , 或湿重  $14623 \times 10^3 \text{ kg}$ 。必须指出,这个结果只是基于普通生态调查的保守估算,廉州湾潮间带的低

潮带至潮下带多养殖文蛤和近江牡蛎,在人为的控制下生产力较高;同时,廉州湾海域密布定置网,对底游型虾蟹类和游泳鱼类层层截留,以及捡拾、挖捕滩涂经济动物等传统副业,同样对潮间带次级生产力的估算造成影响。

### 参考文献

- 蔡立哲, 许 鹏, 傅素晶, 等. 2012. 湛江高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力. 应用生态学报, **23** (4): 965–971.
- 杜飞雁, 王学辉, 李纯厚, 等. 2008. 大亚湾大型底栖动物生产力变化特征. 应用生态学报, **19**(4): 873–880.
- 范航清, 何斌源, 韦受庆. 2000. 海岸红树林地沙丘移动对林内大型底栖动物的影响. 生态学报, **20**(5): 722–727.
- 范航清, 韦受庆, 何斌源, 等. 1998. 英罗港红树林缘潮水中游泳动物的季节动态. 广西科学, **5**(1): 45–50.
- 范航清. 2000. 海岸环保卫士——红树林. 南宁: 广西科技出版社.
- 何斌源, 范航清, 王 瑁, 等. 2007. 中国红树林湿地生物多样性及形成. 生态学报, **27**(11): 4859–4870.
- 焦海峰, 施慧雄, 尤仲杰, 等. 2011. 浙江渔山列岛岩礁潮间带大型底栖动物次级生产力. 应用生态学报, **22**(8): 2173–2178.
- 金 亮, 蔡立哲, 周细平, 等. 2008. 深圳湾北岸泥滩大型底栖动物次级生产力研究. 台湾海峡, **26**(3): 415–421.
- 莱莉 CM, 帕森斯 TR (张志南等译). 2000. 生物海洋学导论. 青岛: 青岛海洋大学出版社: 153–192.
- 赖廷和, 何斌源. 1998. 广西红树林区大型底栖动物种类多样性研究. 广西科学, **5**(3): 166–172.
- 黎广钊, 梁 文, 刘敬合. 2002. 廉州湾重矿物组合区与泥沙来源. 广西科学, **9**(2): 119–123.
- 李春干. 2003. 广西红树林资源的分布特点和林分结构特征. 南京林业大学学报(自然科学版), **27**(5): 15–19.
- 李新正, 王洪法, 张宝琳, 等. 2005. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. 海洋与湖沼, **36**(11): 527–533.
- 梁俊彦, 蔡立哲, 周细平, 等. 2008. 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, **27**(4): 466–471.
- 林 鹏. 1997. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社.
- 刘修泽, 李轶平, 于旭光, 等. 2011. 旅顺南部基岩海岸潮间带大型底栖动物的群落结构研究. 水产科学, **30** (12): 777–780.
- 吕小梅, 方少华, 吴萍茹. 2008b. 海坛海峡潮下带大型底栖动物现状及次级生产力的研究. 厦门大学学报(自然科学版), **47**(4): 591–595.
- 吕小梅, 方少华, 张跃平, 等. 2008a. 福建海坛海峡潮间带



- 大型底栖动物群落结构及次级生产力. 动物学报, **54**(3): 428-435.
- 潘良浩. 2011. 广西茅尾海荖荖生物量研究. 安徽农业科学, **39**(22): 13481-13483.
- 王金辉, 杨春旺, 孙亚伟, 等. 2006. 象山港大型底栖动物的生物多样性和次级生产力研究. 天津农学院学报, **13**(2): 24-28.
- 袁伟, 张志南, 于子山. 2007. 胶州湾西部海域大型底栖动物次级生产力初步研究. 应用生态学报, **18**(1): 145-150.
- 张海波, 蔡燕红, 王薇. 2010. 象山港潮间带大型底栖动物次级生产力初探. 宁波大学学报(理工版), **23**(4): 26-30.
- 周进, 纪炜炜. 2012. 三都澳大型底栖动物次级生产力. 海洋渔业, **34**(1): 32-38.
- 周细平, 蔡立哲, 梁俊彦, 等. 2008. 厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究. 厦门大学学报(自然科学版), **47**(6): 902-906.
- Brey T, Gerdes D. 1998. High antarctic macrobenthic community productivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **231**: 191-200.
- Brey T. 1990. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Meeresforsch*, **32**: 329-343.
- Lewis RR. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, **24**: 403-418.
- Odum WE, Heald EJ. 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. *Estuarine Research*, **1**: 265-286.
- Osman RW. 1977. The establishment and development of a marine epifaunal community. *Ecological Monographs*, **47**: 37-63.
- Sinicrope TL, Mine PG, Warren RS, et al. 1990. Restoration of an Impounded Salt Marsh in New England. *Estuaries*, **13**: 25-30.
- Tumbiolo ML, Downing JA. 1994. An empirical model for the prediction of secondary productivity in marine benthic invertebrate populations. *Marine Ecology Progress Series*, **114**: 165-174.
- Warren RS, Fell PE, Rozsa R, et al. 2002. Salt Marsh Restoration in Connecticut: 20 Years of Science and Management. *Restoration Ecology*, **10**: 497-513.

---

作者简介 何斌源,男,1969年生,博士,研究员,主要从事海洋生态学研究。E-mail: hebinyuan2008@126.com  
责任编辑 李凤芹

---