

湛江高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力*

蔡立哲^{1,2**} 许鹏¹ 傅素晶¹ 彭欣¹ 曹婧¹ 陈昕韡¹ 吴辰¹ 刘莎¹

(¹厦门大学环境与生态学院, 福建厦门 361005; ²厦门大学海洋生物多样性与全球变化研究室, 福建厦门 361005)

摘要 为了比较湛江高桥潮间带不同植物生境的大型底栖动物次级生产力, 根据2010年4个季度湛江高桥潮间带生境的大型底栖动物数据, 运用Brey经验公式计算不同植物生境的大型底栖动物次级生产力。结果表明: 湛江高桥红树林和盐沼湿地不同生境大型底栖动物平均次级生产力为 $11.77 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中, 无瓣海桑生境次级生产力最高, 为 $18.16 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是桐花树、盐地鼠尾粟和木榄生境, 分别为 17.67 、 8.34 和 $2.92 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在4种生境中, 木榄生境的年生产力/年均生物量(P/B)最高, 为 2.38 , 其次是无瓣海桑、盐地鼠尾粟和桐花树生境, 分别为 1.23 、 0.99 和 0.48 。湛江高桥潮间带不同植物生境大型底栖动物次级生产力和 P/B 值的差异主要与总有机碳含量、食物类型和动物个体大小有关。

关键词 大型底栖动物 次级生产力 P/B 值 红树林 盐沼

文章编号 1001-9332(2012)04-0965-07 中图分类号 Q143 Q178 Q958 文献标识码 A

Secondary productivity of macrobenthos in mangrove and salt marsh in Gaoqiao of Zhanjiang, Guangdong Province of South China. CAI Li-zhe^{1,2}, XU Peng¹, FU Su-jing¹, PENG Xin¹, CAO Jing¹, CHEN Xin-wei¹, WU Chen¹, LIU Sha¹ (¹College of Environmental and Ecological Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; ²Laboratory of Marine Biodiversity and Global Change, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2012 23(4): 965-971.

Abstract: In order to understand the secondary productivity of macrobenthos in different botanic habitats in intertidal zone in Gaoqiao of Zhanjiang, the Brey's empirical formula was applied to calculate the secondary productivity based on the investigations in the habitats of *Sonneratia apetala*, *Aegiceras corniculatum*, *Sporobolus virginicus*, and *Bruguiera conjugate* in four seasons, 2010. The secondary productivity of the macrobenthos in the habitats in four seasons was averagely $11.77 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, being the highest in *S. apetala* habitat ($18.16 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), followed by in *A. corniculatum* habitat ($17.67 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), *S. virginicus* habitat ($8.34 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), and *B. conjugate* habitat ($2.92 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). The P/B ratio of the macrobenthos was the highest in *B. conjugate* habitat (2.38), followed by in *S. virginicus*, *S. virginicus*, and *A. corniculatum* habitats, with the values of 1.23 , 0.99 , and 0.48 , respectively. The differences in the secondary productivity and P/B ratio of the macrobenthos among the four botanic habitats were mainly related to the sediment total organic carbon, food type, and macrobenthos individual size.

Key words: macrobenthos; secondary productivity; P/B ratio; mangrove; salt marsh.

广东湛江红树林自然保护区位于广东省湛江市境内, 面积 $2.03 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 是我国现存红树林面积最大的一个自然保护区, 1997年晋升为国家级自然保护区。本区地处我国大陆最南端的雷州半岛东、

南、西面海岸滩涂带, 是北部湾红树林生态系统的重要组成部分, 在抗御台风风暴潮、减缓潮流流速、保持水土、控制堤岸侵蚀、吸收转化污染物、净化海水等方面发挥着极其重要的生态功能和作用。

国外许多学者在河流、湖泊和海洋广泛开展了大型底栖动物次级生产力的研究。相比之下, 我

* 国家自然科学基金重点项目(30930017)资助。

** 通讯作者, E-mail: cailizhe@xmu.edu.cn

2011-08-31 收稿, 2012-01-22 接受。

国次级生产力的研究起步较晚,从20世纪90年代初对几个单种群次级生产力的研究^[4-6],至20世纪90年代末、21世纪初深入到整个群落水平的研究^[7-10]。近年来,国内学者对潮间带泥滩^[11]、沙滩^[12]、岩石岸^[13]、贝类养殖滩涂^[14]以及多底质潮间带^[15-17]的大型底栖动物次级生产力进行了研究,发现不同沉积环境大型底栖动物次级生产力差别较大,这是因为不同沉积环境大型底栖动物群落的种类组成不一样。为了探讨不同红树林生境和盐沼大型底栖动物次级生产力的具体情况,本文根据2010年在湛江高桥3种红树林生境以及盐地鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)生境获得的大型底栖动物数据,运用Brey^[18]的经验公式,计算4种植物生境大型底栖动物次级生产力,旨在为红树林生态保护和生态修复过程中种植植物的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品调查与测定

2010年1月(冬季)、4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季),在广东湛江高桥红树林区潮间带进行4个季度大型底栖动物生态调查。在木榄(*Bruguiera conjugata*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和盐地鼠尾粟4种植物生境中各布设5个取样点(图1)。

大型底栖动物的采集在低潮时进行。采样时,在

每个取样点用面积为 $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$ 的样框,挖深 0.30 m ,将采集的5个样品分别装入塑料袋,带到岸边水塘处,利用涡流分选器将留在筛网上的生物及泥沙装入样品瓶中,用5%甲醛固定后带回实验室。带回的样品在实验室内置于网筛内,用自来水仔细冲洗,留在网筛上的大型底栖动物标本及残渣全部转移至培养皿,在解剖镜下进行分类计数后用滤纸吸干,用感量为 0.0001 g 的电子天平称湿质量,计算平均个体数、湿质量与取样面积之比,计算大型底栖动物的栖息密度($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)和湿生物量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$),并统计物种数以及物种组成。

1.2 化学指标的测定

1.2.1 总有机碳和总氮 现场采集泥样,用钳子将待测泥样中的落叶、树根和垃圾拣出。将经过初步处理的泥样置于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中烘至恒温,并用20网目的筛子进行筛选。将泥样以 10 g 为单位平均分成几份,加入 1 N 盐酸在室温下放置 24 h ,以去除泥样中的无机碳。用型号为Vario EL III的元素分析仪测定经过预处理的泥样中的总有机碳和总氮。

1.2.2 温度和盐度 采用便携式温度计和盐度计进行现场测量。

1.3 大型底栖动物次级生产力的计算

将每个样点的大型底栖动物生物量(湿质量, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)的 $1/5$ 作为干质量,干质量的 $9/10$ 作为去灰干质量(ash-free dry mass, AFDM)^[18-19],同时结

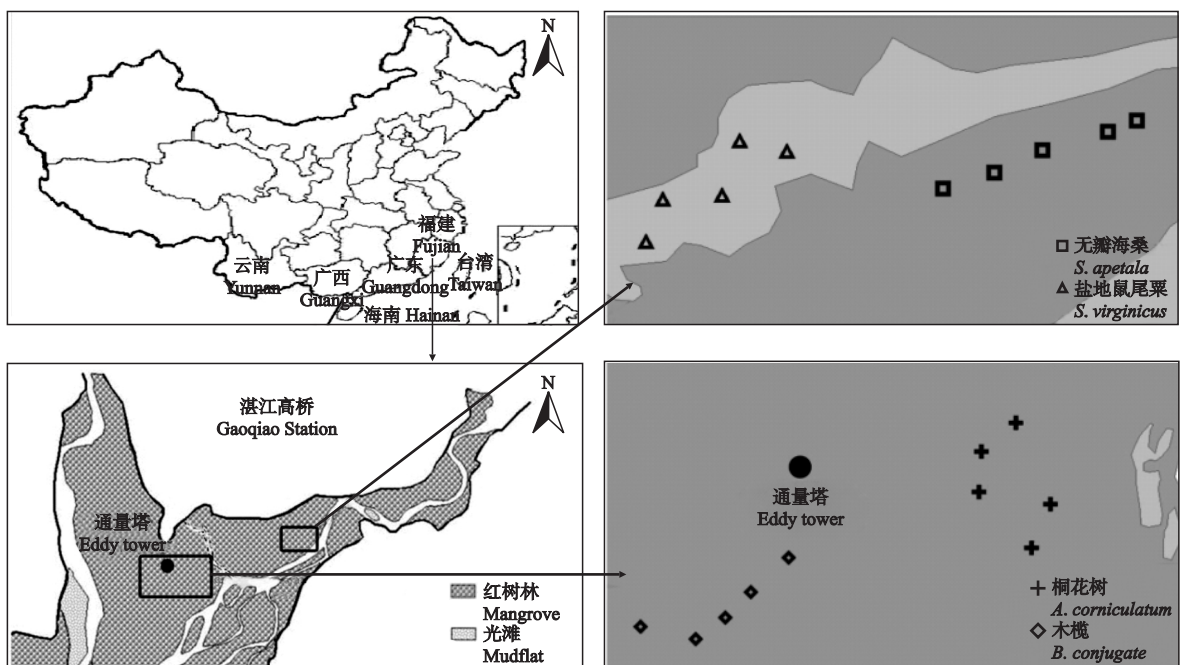


图1 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物取样站点示意图

Fig. 1 Sketch of macrofaunal sampling stations in mangrove and salt marsh in Gaoqiao, Zhanjiang.

表 1 Brey 公式中不同类群的 x 、 y 、 z 值
Table 1 x , y and z values of different groups in Brey's formula

系数 Coefficient	多毛类 Polychaeta	软体动物 Mollusca	甲壳类 Crustacea	棘皮动物和 其他类群 Echinodermata and others
x	0.116	0.283	0.361	0.274
y	0.906	0.747	0.661	0.733
z	0.018	0.591	0.614	0.473

合大型底栖动物栖息密度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 计算每个样点的次级生产力. 计算采用 Brey^[18] 的经验公式:

$$P = A^{0.27} B^{0.73} / 10^{0.4}$$

为了计算不同类群动物的次级生产力, 按照下式进行计算:

$$P = A^x B^y / 10^z$$

式中: P 为每个样框的大型底栖动物去灰次级生产力 ($\text{g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); A 为每个样点的大型底栖动物栖息密度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$); B 为去灰干质量生物量 ($\text{g AFDM} \cdot \text{m}^{-2}$); x 、 y 、 z 为系数 (表 1).

每个季度每种生境中大型底栖动物次级生产力为 5 个样点的平均值, 每个季度的大型底栖动物次级生产力为同季度 4 种植物生境的平均值, 大型底栖动物年次级生产力为 4 个季度的平均值.

2 结果与分析

2.1 高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物物种数、栖息密度、生物量

在高桥潮间带 4 种植物生境 4 个季度共获得大型底栖动物 58 种. 桐花树生境获得的大型底栖动物物种数最多, 其次是无瓣海桑、木榄和盐地鼠尾粟生境, 分别为 31、29、26 和 22 种. 木榄生境没有发现双壳类动物, 木榄、桐花树和盐地鼠尾粟生境均是甲壳类动物物种数最多, 无瓣海桑生境中多毛类动物物种数最多 (图 2).

高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物年均密度为 $2475.4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$. 木榄、桐花树和无瓣海桑生境均以寡毛类动物栖息密度所占比例最高, 分别占 90.6%、90.0% 和 93.4%, 而盐地鼠尾粟则以甲壳类动物栖息密度所占比例最高, 为 76.0% (图 2). 寡毛类栖息密度高, 是由于红树林湿地适宜寡毛类动物生长. 甲壳类动物栖息密度较高, 是由于端足类和蟹类密度高, 特别是上野螺赢蜚 (*Corophium uenoi*) 和中华螺赢蜚 (*C. sinensis*), 其在木榄生境年均栖息密度分别为 80.8 和 49.6 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$. 高桥红

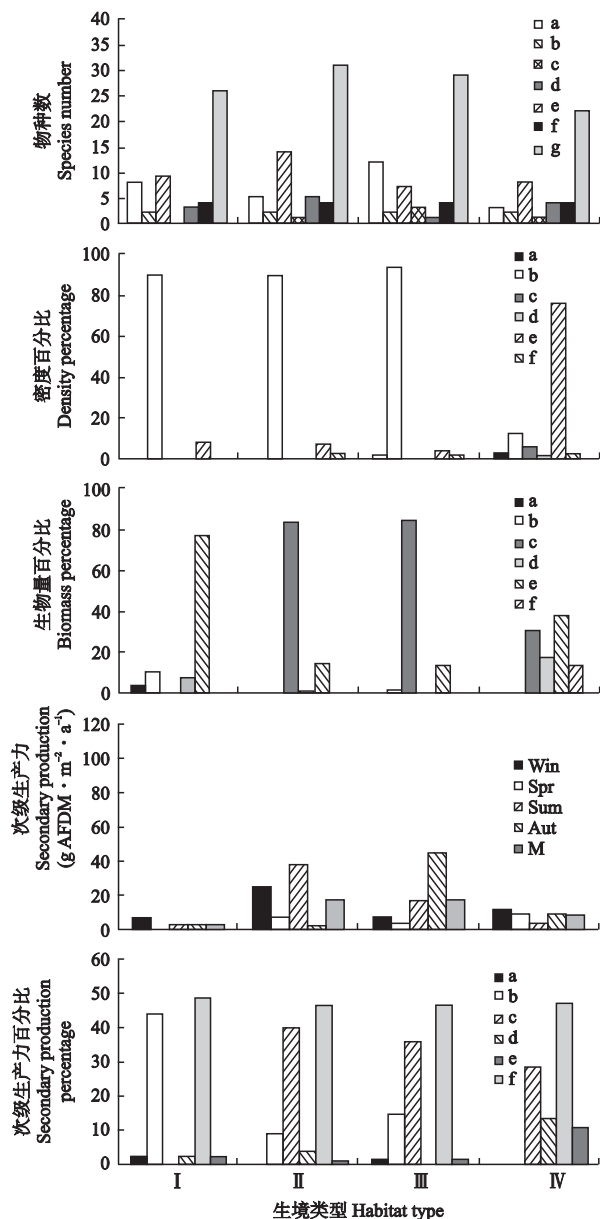


图 2 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物的种类组成、密度百分比、生物量百分比以及次级生产力和次级生产力百分比

Fig. 2 Species composition, density percent, biomass percent, secondary production and secondary production percent of macrofauna in mangrove and salt marsh in Gaoqiao, Zhanjiang.

a) 多毛类 Polychaeta; b) 寡毛类 Oligochaeta; c) 甲壳类 Crustacea; d) 双壳类 Bivalvia; e) 腹足类 Gastropoda; f) 其他类 Others; g) 总种数 Total species. I: 木榄 *Bruguiera conjugata*; II: 桐花树 *Aegiceras corniculatum*; III: 无瓣海桑 *Sonneratia apetala*; IV: 盐地鼠尾粟 *Sporobolus virginicus*. Win: 冬季 Winter; Sum: 夏季 Summer; Aut: 秋季 Autumn; Spr: 春季 Spring; M: 平均值 Mean value.

树林和盐沼湿地常见大型底栖动物有多毛类的小头虫 (*Capitella capitata*) 和溪沙蚕 (*Namalycastis abiuma*)、甲壳动物的宽身闭口蟹 (*Cleistostoma dilatutum*) 和刀额新对虾 (*Metapenaeus ensis*)、软体动物双壳类的中国绿螂 (*Glaucomya chinensis*).

生物量为 $74.27 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。木榄和盐地鼠尾粟生境以甲壳类动物生物量所占比例最高,分别为 77.7% 和 38.2%。桐花树生境和无瓣海桑生境则以双壳类动物生物量所占比例最高,分别为 83.8% 和 85.2% (图 2)。

在大型底栖动物生物量组成中,双壳类动物占优势,其平均生物量为 $55.87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,占总生物量的 75.2%。其次为甲壳类动物,平均生物量为 $13.88 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,占总生物量的 18.7%。双壳类动物生物量高,是因为在桐花树和无瓣海桑生境采集到个体很大的红树蚬 (*Geloina erosa*),在盐地鼠尾粟生境采集到个体较大的中国绿螂。甲壳类动物生物量高,是因为在 4 种植物生境中均采集到栖息密度较高的宽身闭口蟹。

2.2 高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力

高桥红树林和盐沼湿地无瓣海桑生境的大型底栖动物次级生产力为 4 种植物生境中最高,为 $18.16 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其次分别是桐花树、盐地鼠尾粟和木榄生境,分别为 17.67、8.34 和 $2.92 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (图 2)。单因变量双因素方差分析 (Two-way ANOVA) 表明,高桥红树林和盐沼湿地 4 种植物生境之间、季节之间以及生境 \times 季节之间的大型底栖动物次级生产力均无显著差异 (表 2)。

2.3 高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物群落次级生产力组成

高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物年均次级生产力为 $11.77 \text{ g AFDM} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,对其贡献最大的是甲壳类和双壳类动物,分别占大型底栖动物生产力的 47.2% 和 26.0%。寡毛类第三,占 16.9%,多毛类动物的贡献仅 1.0%。甲壳类的宽身闭口蟹、软体动物双壳类的红树砗等对高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物的次级生产力有重要贡献。4 种植物

生境大型底栖动物次级生产力贡献最大的均是甲壳类动物,但木榄生境没有采集到双壳类动物,因此对大型底栖动物次级生产力贡献第二大的是寡毛类动物;盐地鼠尾粟生境寡毛类动物对次级生产力的贡献仅为 0.2% (图 2)。

2.4 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物群落的 P/B 值

湛江高桥潮间带木榄、桐花树、无瓣海桑、盐地鼠尾粟生境的 P/B 值分别为 2.38、0.48、1.23、0.99。木榄生境的 P/B 值最高,这是因为木榄生境大型底栖动物栖息密度 ($3621.6 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 与桐花树 ($3996.0 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 和无瓣海桑 ($3138.4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 两种红树林生境接近,但大型底栖动物生物量 ($6.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) 比桐花树 ($206.34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)、无瓣海桑 ($81.90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) 两种红树林生境低 10 倍以上,可见,木榄生境的大型底栖动物群落以小型甲壳动物端足类和环节动物寡毛类为栖息密度优势种,大个体大型底栖动物较少,因而生物量较低,因此木榄生境大型底栖动物群落的物种新陈代谢速率高,世代更新速度快,对环境变化适应力强。桐花树生境的 P/B 值很低,仅 0.48,这是由于在桐花树生境采集到栖息密度较高的大个体蟹类,如褶痕相手蟹 (*Sesarma plicata*)、双齿相手蟹 (*Sesarma bidens*)、宽身闭口蟹和弧边招潮蟹 (*Uca arcuata*) 等,在桐花树生境还采集到个体生物量很大的红树蚬。

2.5 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物群落参数与生态因子的关系

除了大型底栖动物栖息密度与总氮之间显著相关外,湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物栖息密度、生物量、次级生产力与泥温、盐度、总碳、总氮之间均无显著相关 (表 3)。这是因为在红树林和盐沼湿地栖息的大型底栖动物多是广温、广盐种,且

表 2 湛江高桥潮间带大型底栖动物和环境参数的单因变量双因素方差分析

Table 2 Two-way ANOVA among habitats and seasons for macrofauna and environmental parameters in Gaoqiao intertidal zone, Zhanjiang

参数 Parameter	季节 Season		生境 Habitat		季节 \times 生境 Season \times habitat	
	F	P	F	P	F	P
栖息密度 Density	0.642	0.591	2.239	0.092	1.577	0.141
生物量 Biomass	0.734	0.536	0.643	0.590	1.375	0.218
次级生产力 Secondary production	0.758	0.522	1.953	0.130	1.596	0.136
泥温 Muddy temperature	2087.780	<0.000***	51.315	<0.000***	14.068	<0.000***
盐度 Salinity	113.646	<0.000***	19.544	<0.000***	5.888	<0.000***
总碳 Total carbon	2.315	0.084	77.201	<0.000***	1.083	0.388
总氮 Total nitrogen	1.877	0.142	99.944	<0.000***	2.751	0.009**

***P < 0.01; **P < 0.001.

表 3 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物参数与生态因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between macrofaunal community and ecological factors in mangrove and salt marsh in Gaoqiao, Zhanjiang ($n = 80$)

大型底栖动物参数 Macrofaunal parameter	泥温 Muddy temperature	盐度 Salinity	总碳 Total carbon	总氮 Total nitrogen
栖息密度 Density	-0.012	0.196	0.190	0.228*
生物量 Biomass	0.108	0.013	0.053	0.059
次级生产力 Secondary production	0.019	0.080	0.074	0.073

* $P < 0.05$.

夏季有红树林遮阴、冬季有红树林挡风,因此温盐对大型底栖动物栖息密度、生物量、次级生产力的影响较小。

3 讨 论

3.1 湛江高桥潮间带不同植物生境大型底栖动物次级生产力差异分析

影响大型底栖动物次级生产力的因子很多,如温度、底质类型、食物、动物个体大小等^[20]。湛江高桥潮间带无瓣海桑和桐花树生境比木榄生境的大型底栖动物次级生产力高,受温度和底质类型影响较小,而受总碳、总氮和动物个体大小影响较大。同一季度 3 种红树林生境的沉积物温度相差很小,如春季木榄、桐花树和无瓣海桑生境的沉积物温度分别是 23.4、24.5 和 25.1 °C,相差最大 1.7 °C,这在野外是非常小的。木榄、桐花树和无瓣海桑生境底质粒径比较接近,其粉砂含量分别是 87.2%、84.2% 和 75.9%。木榄、桐花树和无瓣海桑生境底质有机碳含量在秋季分别为 3.1%、4.2% 和 3.0%,可见桐花树生境的有机碳含量较高。虽然湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物与总碳没有显著相关,但单因变量多因素方差分析表明湛江高桥不同植物生境之间总碳存在显著差异(表 2)。一般来说,有机质丰富、颗粒较小(如淤泥)的底质中底栖动物生产力较高,但有机质过于丰富反而导致底质环境缺氧,底栖动物生产力明显下降^[21-22]。桐花树生境大型底栖动物以肉食者居多,捕食作用可能降低了底栖动物的现存量,但由此刺激底栖动物生长率的加快却可促使生产力提高。Kajak^[23]认为,捕食作用可能减小了初级消费者对食物和空间的竞争,由此可能促进底栖动物生长率的提高,进而刺激生产力增长,然而这种作用很难从野外的研究中得到定量。桐花树和无瓣海桑生境中发现个体生物量很高的软体动物双壳

类红树蚬,而木榄生境则没有发现红树蚬。

盐地鼠尾粟生境大型底栖动物次级生产力低于桐花树和无瓣海桑生境,而高于木榄生境,这与动物个体大小有关。盐地鼠尾粟生境有个体较大的双壳类软体动物中国绿螂,其平均栖息密度为 25.6 ind · m⁻²,其在无瓣海桑生境中的平均栖息密度为 7.2 ind · m⁻²,木榄生境没有采集到中国绿螂。

3.2 湛江高桥潮间带不同植物生境大型底栖动物群落 P/B 值的比较

湛江高桥潮间带无瓣海桑生境大型底栖动物次级生产力在 4 种植物生境中最高,而木榄生境的 P/B 值在 4 种植物生境中最高,这主要与大型底栖动物群落组成有关。木榄生境的大型底栖动物群落以小型甲壳动物端足类和环节动物寡毛类为栖息密度优势种,大个体大型底栖动物较少,因而生物量较低,可见木榄生境大型底栖动物群落的物种新陈代谢速率高,世代更新速度快,对环境变化适应力强。桐花树生境和无瓣海桑生境的 P/B 值低,是由于在两种植物生境均采集到密度较高的大个体蟹类,如褶痕相手蟹、双齿相手蟹、宽身闭口蟹和弧边招潮蟹等,还采集到个体生物量很大的红树蚬。P/B(次级生产力/生物量)值是种群生物量的更新次数^[24],它反映了一个生态群落内种群的年龄结构和群落组成的特异性以及不同物种新陈代谢速率的高低和世代更新速度^[25-26]。Ceccherelli 和 Mistri^[27]证实,个体较小、生命史较短、繁殖较快、繁殖率较高、对环境变化适应能力较强的种类,其 P/B 值较高,反之,该值较低。Mann^[28]研究表明,一些生活史较长的软体动物的 P/B 值仅为 0.1~0.2。

3.3 不同海区潮间带大型底栖动物次级生产力和 P/B 值的对比

本研究表明,湛江高桥潮间带红树林和盐沼湿地 4 个季度大型底栖动物平均次级生产力为 11.77 g AFDM · m⁻² · a⁻¹,P/B 值为 0.88。深圳湾北岸红树林湿地大型底栖动物平均次级生产力为 54.55 g AFDM · m⁻² · a⁻¹,P/B 值为 2.95^[11];同安湾红树林区 4 个季度大型底栖动物平均次级生产力为 12.2 g AFDM · m⁻² · a⁻¹,P/B 值为 1.17^[29];湄洲湾贝类养殖滩涂大型底栖动物次级生产力 34.70 g AFDM · m⁻² · a⁻¹,P/B 值为 1.32^[14];湄洲湾东吴港区附近潮间带大型底栖动物次级生产力 5.33 g AFDM · m⁻² · a⁻¹,P/B 值为 1.93^[15]。可见,湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物 P/B 值在上述 5 个调查区中最低,这与调查海区环境现状有

关. 深圳湾北岸红树林湿地受城市生活污水、工农业废水的影响 栖息密度较高的是多毛类和寡毛类等耐高有机负荷的种类^[11]. 同安湾红树林区周围有集美污水处理厂和水产养殖, 其污水排放进入红树林湿地, 导致小个体寡毛类和多毛类等成为栖息密度优势种^[29]. 涠洲湾贝类养殖滩涂受人为扰动(主要是渔业活动)较多, 个体较小的多毛类动物米列虫(*Melinna* sp.)和腹足类动物细纹拟捻螺(*Acteocina exilis*) 在贝类养殖滩涂的栖息密度较高^[14]. 涠洲湾东吴港区附近潮间带大型底栖动物栖息密度以环节动物多毛类占优势, 采集到的多毛类个体小、生活史短、繁殖率高, 故 P/B 值相对较高^[15]. 湛江高桥红树林和盐沼湿地虽然个体小的寡毛类动物栖息密度很高, 但在桐花树和无瓣海桑生境均可采集到个体很大的红树蚬, 在无瓣海桑和盐地鼠尾粟生境可采集到中国绿螂, 在4种植物生境均可采集到栖息密度高、个体较大的宽身闭口蟹. 因此, 湛江高桥红树林和盐沼湿地大型底栖动物 P/B 值较其他海区低.

参考文献

- [1] Viegas I, Martinho F, Neto J, et al. Population dynamics, distribution and secondary production of the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) in a southern European estuary: Latitudinal variations. *Scientia Marina*, 2007, **71**: 451 - 460
- [2] Entekin SA, Rosi-Marshall EJ, Ank JL, et al. Macroinvertebrate secondary production in 3 forested streams of the upper Midwest, USA. *Journal of the North American Benthological Society*, 2007, **26**: 472 - 490
- [3] Valentine JF, Heck KL. Mussels in seagrass meadows: Their influence on macroinvertebrate abundance and secondary production in the northern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, **96**: 63 - 74
- [4] Wu B-L (吴宝铃), Qiu J-W (丘建文). Production of *Perinereis nuntia* (savigny) at a Qingdao beach. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1992, **12**(1): 61 - 67 (in Chinese)
- [5] Zhou Y-B (周一兵), Xie Z-H (谢祚浑). Secondary production of *Neanthes japonica* in shrimp ponds. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), 1995, **19**(2): 140 - 150 (in Chinese)
- [6] Lin K-X (林焯璇), Han J (韩洁), Lin X-Y (林旭吟), et al. Population dynamics and secondary production of the polychaete *Capitella capitata* in the intertidal zone in Xiamen. *Journal of Beijing Normal University* (北京师范大学学报), 2008, **44**(3): 314 - 318 (in Chinese)
- [7] Yu Z-S (于子山), Zhang Z-N (张志南), Han J (韩洁). Primary study on secondary production of macrobenthos in Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao* (青岛海洋大学学报), 2001, **31**(6): 867 - 871 (in Chinese)
- [8] Li X-Z (李新正), Wang H-F (王洪法), Zhang B-L (张宝琳). The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay, Shandong. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2005, **36**(11): 527 - 533 (in Chinese)
- [9] Li X-Z (李新正), Wang J-B (王金宝), Wang H-F (王洪法), et al. Secondary production of macrobenthos from the East China Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2005, **11**(4): 459 - 462 (in Chinese)
- [10] Li X-Z (李新正), Yu Z-S (于子山), Wang J-B (王金宝), et al. Secondary production of macrobenthos in Southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2005, **11**(6): 702 - 705 (in Chinese)
- [11] Jin L (金亮), Cai L-Z (蔡立哲), Zhou X-P (周细平), et al. Secondary production of macrobenthos on the mudflat of northern Shenzhen Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 2007, **26**(3): 415 - 421 (in Chinese)
- [12] Liang J-Y (梁俊彦), Cai L-Z (蔡立哲), Zhou X-P (周细平), et al. Macrobenthic community and its secondary production on the intertidal sandflat in Shenhu Bay. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 2008, **27**(4): 466 - 471 (in Chinese)
- [13] Jiao H-F (焦海峰), Shi H-X (施慧雄), You Z-J (尤仲杰), et al. Secondary productivity of macrobenthos in rocky intertidal zone of Yushan Islands, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(8): 2173 - 2178 (in Chinese)
- [14] Jin L (金亮), Lin X-C (林秀春), Cai L-Z (蔡立哲). Study on secondary production of macrobenthos in shellfish-farming mudflat in Meizhou Bay. *Marine Environmental Science* (海洋环境科学), 2009, **28**(suppl. 1): 8 - 11 (in Chinese)
- [15] Fang S-H (方少华), Lü X-M (吕小梅), Zhang Y-P (张跃平), et al. Spatio-temporal distribution and secondary production of macrobenthos in intertidal zone of Dongwu of Meizhou Bay, Fujian Province. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 2009, **28**(3): 392 - 398 (in Chinese)
- [16] Lü X-M (吕小梅), Fang S-H (方少华), Zhang Y-P (张跃平), et al. Community structure and secondary production of macrobenthos in the intertidal zone of Haitan Strait, Fujian Province. *Acta Zoologica Sinica* (动物

- 学报), 2008, **54**(3): 428-435 (in Chinese)
- [17] Zhang H-B (张海波), Cai Y-H (蔡燕红), Wang W (王薇). Secondary production of intertidal macrobenthos from Xiangshan Bay. *Journal of Ningbo University*(宁波大学学报), 2010, **23**(4): 26-30 (in Chinese)
- [18] Brey T. Estimating production of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Meeresforsch*, 1990, **32**: 329-343
- [19] Crips DJ. Energy flow measurements// McIntyre AD, Holme NA, eds. *Methods for the Study of Marine Benthos*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1984: 284-366
- [20] Brey T, Gerdes D. High antarctic macrobenthic community production. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1998, **231**: 191-200
- [21] Resh VH. Habit and substrate influences on population and production dynamics of a stream caddisfly, *Ceraclea ancylus* (Leptoceridae). *Freshwater Biology*, 1977, **7**: 261-277
- [22] Hamill SE, Qadri SU, Mackie GL. Production and turnover ratio of *Pisidium casertanum* (Pelecypoda: Sphaeriidae) in the Ottawa River near Ottawa Hull, Canada. *Hydrobiologia*, 1979, **62**: 225-230
- [23] Kajak Z. Role of invertebrate predator (mainly *Procladius* sp.) in benthos// Murray DA, ed. *Chironomidae: Ecology, Systematic, Cytology and Physiology*. Oxford: Pergamon Press, 1980: 339-347
- [24] Tumhiolo ML. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, **114**: 165-174
- [25] Waters TF. Secondary production in inland waters. *Advance of Ecological Research*, 1977, **10**: 91-164
- [26] Mistri M, Ceccherelli VU. Growth and secondary production of the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, **103**: 291-296
- [27] Ceccherelli VU, Mistri M. Production of the macrobenthic harpacticoid copepod *Canuella perplexa*. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, **68**: 225-234
- [28] Mann KH. Use of the Alien cure method for calculating benthic production// Edmondson WT, Winberg GG, eds. *A Manual on Method for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters* (IBP Handbook No. 17). Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications, 1971: 160-165
- [29] Zhou XP, Cai LZ. Secondary production of macrobenthos in Tong'an Bay mangrove area, China. *Journal of Ocean University of China*, 2010, **9**: 151-156

作者简介 蔡立哲,男,1957年生,博士,教授.主要从事海洋底栖生物学和环境生物学研究. E-mail: cailizhe@xmu.edu.cn

责任编辑 肖红
